This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

**Usage guidelines**

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

**About Google Book Search**

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

**A propos de ce livre**

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

**Consignes d'utilisation**

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

**À propos du service Google Recherche de Livres**

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

LA

# TRACTION ÉLECTRIQUE

Digitized by Google

Digitized by Google

# LA
# TRACTION ÉLECTRIQUE

## SUR VOIES FERRÉES

## VOIE — MATÉRIEL ROULANT — TRACTION

PAR

**ANDRÉ BLONDEL**
Ingénieur des Ponts et Chaussées,
Professeur d'Électricité appliquée
à l'École des Ponts et Chaussées.

**F. PAUL-DUBOIS**
Ingénieur des Ponts et Chaussées
et du Service municipal
de la Ville de Paris.

**Avec 1014 figures dans le texte.**

*Ouvrage honoré d'une souscription du Ministère des Travaux publics.*

TOME PREMIER

PARIS
LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE BAUDRY ET Cie, ÉDITEURS
15, RUE DES SAINTS-PÈRES, 15
MAISON A LIÉGE, 21, RUE DE LA RÉGENCE

1898
Tous droits réservés.

Digitized by Google

NEW YORK
PUBLIC LIBRARY
105704
ASTOR, LENOX AND
TILDEN FOUNDATIONS.
1899.

Digitized by Google

A MONSIEUR

ALFRED POTIER

Membre de l'Institut

HOMMAGE

DE RESPECTUEUSE GRATITUDE

Digitized by Google

Digitized by Google

# NOTATIONS

| | | |
|---|---|---|
| Romaines, rondes et italiques | A . . . . | Accélération à la mise en vitesse. |
| — — | A'. . . . | Accélération négative (retardation) à l'arrêt. |
| — — | $a$ . . . . | Coefficient d'adhérence. |
| — — | $\mathfrak{B}$ . . . . | Induction magnétique. |
| — — | C, $C_m$, $C_r$ . | Moment d'un couple, couple moteur, couple résistant, etc. |
| — — | D, $d$. . . | Diamètre. |
| — — | E, $e$. . . | Force électromotrice. |
| — — | F . . . . | Effort de traction. |
| — — | $f$, $f'$. . . | Coefficients de frottement. |
| — — | G . . . . | Résistance d'un galvanomètre. |
| — — | $g$ . . . . | Accélération due à la pesanteur. |
| — — | $\mathcal{H}$. . . . | Force magnétisante ou intensité de champ magnétique. |
| — — | I, J, $j$, $i_0$. | Intensités de courant. |
| — — | $i$, . . . . | Déclivité d'une rampe. |
| — — | K, $k$. . . | Constantes. |
| — — | L, $l$. . . | Longueurs. |
| — — | $L_1$ $L_2$ . . | Self-inductions. |
| — — | $m$. . . . | Nombre. |
| — — | $n$ . . . . | Nombre de tours. |
| — — | P . . . . | Poids utile des trains ou des véhicules. |
| — — | $p$. . . . | Nombre de pôles (chap. XI), puissance spécifique (chap. XIII). |
| — — | $P_u$, $P_m$. . | Puissance utile, puissance moyenne. |
| — — | Q . . . . | Poids mort. |
| — — | $q$ . . . . | Nombre de phases d'un moteur polyphasé |
| — — | R, $r$. . . | Résistances électriques. |
| — — | $r'$, $r''$, $r'''$. | Coefficients de roulement. |
| — — | $\mathfrak{R}$. . . | Réluctance magnétique (chap. XI). Résistance au roulement (chap. XIII et suivants). |
| — — | S, $s$. . . | Surface, section. |
| — — | T. . . . | Effort tangentiel. |
| — — | $t$ . . . . | Temps. |
| — — | U, $u$. . . | Différence de potentiel. |
| — — | V, $v$. . . | Vitesse. |
| — — | X, $x$. . . | Parcours, distance. |
| — — | $y$. . . . | Ordonnée. |
| — — | W . . . | Énergie. |
| Lettres grecques. . . . | $\alpha$, $\delta$ . . . | Angles. |
| — — | $\beta$. . . . | Coefficient de traction global. |
| — — | $\gamma$ . . . . | Rapport. |
| — — | $\varepsilon$ . . . . | Force électromotrice de réaction d'induit. |
| — — | $\eta$, $\eta'$, $\eta_m$. | Rendements, rendement moyen. |
| — — | $\eta_i$ . . . . | Coefficient de Steinmetz pour l'hystérésis. |
| — — | $\theta$ . . . . | Température. |
| — — | $\mu$ . . . . | Perméabilité magnétique. |
| — — | $\pi$ . . . . | Rapport de la circonférence au diamètre. |
| — — | $\Pi$. . . . | Puissance. |
| — — | $\varpi$. . . . | Puissance spécifique. |
| — — | $\rho$ . . . | Résistivité. Résistance au roulement (chap. XIII). |
| — — | $\Phi$, $\varphi$ . . | Flux. |
| — — | $\psi$. . . | Angle de décalage (chap. XI). Coefficient de frottement dû au mécanisme (chap. XIII). |
| — — | $\omega$. . . . | Vitesse angulaire. |

Digitized by Google

# ABRÉVIATIONS

| | |
|---|---|
| amp. | ampère. |
| amp.-h., amp.-t. | ampère-heure, ampère-tour. |
| cm., $cm^2$, $cm^3$. | centimètre, centimètre carré, centimètre cube. |
| f. é. m., f. m. m. | force électromotrice, force magnétomotrice. |
| fr. | francs. |
| h. | heure. |
| hw., hw-h. | hectowatt, hectowatt-heure. |
| kg., kgm. | kilogramme, kilogrammètre. |
| kg : $cm^2$. | kilogramme par centimètre carré. |
| kw., kw-h. | kilowatt, kilowatt-heure. |
| km., km : h., km : h : s. | kilomètre, kilomètre à l'heure, kilomètre à l'heure par seconde. |
| log. nép. | logarithme népérien. |
| m., $m^2$, m : s., m : s : s. | mètre, mètre carré, mètre par seconde, mètre par seconde par seconde. |
| mm., $mm^2$. | millimètre, millimètre carré. |
| min. | minute. |
| s. | seconde. |
| t., t : m., t : s. | tour, tour par minute, tour par seconde. |

Digitized by Google

# PRÉFACE

MM. A. Blondel et F. Paul-Dubois me demandent de présenter au public leur livre sur la *Traction électrique;* ils oublient volontairement que l'un d'eux au moins est déjà trop bien connu, en France et à l'étranger, par ses travaux sur la Photométrie, l'Arc, l'Éclairage et la Théorie des moteurs à courants alternatifs, pour que ses écrits n'attirent pas l'attention de tous ceux qui s'intéressent aux progrès des applications de l'électricité.

Née il y a plus de soixante ans, l'idée de la traction électrique est restée stérile jusqu'il y a vingt ans, tandis que la traction à vapeur faisait les progrès que l'on connaît et conquérait la terre entière; en dépit des travaux de Siemens, c'est aux États-Unis que le nouveau mode de traction trouvait un sol propice à son développement et c'est du Nouveau Monde qu'il revient aujourd'hui en triomphateur. Les auteurs de ce livre, sans citer les innombrables brevets pris aux États-Unis pendant cette période de fièvre, décrivent cependant à côté des formes consacrées par le succès les essais infructueux qui ont été tentés et, ce qui est plus instructif, exposent les raisons qui les ont fait échouer; les exemples européens, et même français, sont aussi cités et discutés.

Digitized by Google

Aux nombreux documents, rassemblés au prix de plusieurs voyages d'études et de recherches considérables dont témoigne en particulier leur Bibliographie, ils ont ajouté force renseignements et dessins inédits; cela leur a permis de présenter un tableau détaillé de l'état actuel de la Traction électrique proprement dite, tableau qui suffirait à leur assurer la reconnaissance du lecteur. Mais le côté descriptif et documentaire de cet ouvrage n'en est pas le plus important; les auteurs ont voulu écrire un véritable Traité didactique sur la matière et remonter des applications aux principes; aussi y trouvera-t-on de véritables mémoires originaux embrassant l'étude des conditions auxquelles doivent satisfaire les moteurs et de leur adaptation aux divers types de matériel roulant, les procédés de réglage de la vitesse et les conditions de démarrage, les modifications que l'emploi de l'électricité impose aux matériels et aux procédés de traction en usage, etc.

Non contents d'avoir étudié le passé et le présent, ils se sont même préoccupés de l'avenir et ont donné à l'étude des moteurs à courants alternatifs une importance qu'elle ne méritera peut-être complètement que dans quelques années.

Volontairement les auteurs ont laissé de côté tout ce qui concerne la prise de courant, pour se renfermer exclusivement dans la question « Traction »; mais il est bien difficile de se limiter aussi rigoureusement et de ne pas aborder d'autres questions qui, pour n'être pas techniques, n'en présentent pas moins un grand intérêt au point de vue du développement de la traction électrique.

En dehors des cas très restreints où cette traction peut s'opérer dans des propriétés privées, elle emprunte forcément la voie publique, et dès lors naissent, au moins dans nos pays civilisés depuis longtemps, une foule de questions complexes, touchant aux droits de l'État et des communes, à la sécurité

Digitized by Google

des personnes, aux intérêts des services publics qui empruntent les mêmes voies, distributions d'eau, de lumière ou d'énergie. Une réglementation est donc nécessaire, et beaucoup d'industriels la désirent, préférant des règles même sévères à l'arbitraire, pourtant bienveillant, de l'administration. La compétence spéciale des auteurs, ingénieurs des ponts et chaussées, membres du corps auquel appartient en fait le contrôle des tramways, donne un intérêt spécial à leur projet de réglementation ; il est vraisemblable que, dans leurs grandes lignes au moins, les futurs règlements ne s'écarteront pas beaucoup de leurs propositions. En prenant cette initiative, j'estime que MM. Blondel et Paul-Dubois ont rendu un grand service à l'Industrie ; les exploitants, présents ou futurs, sont mis en mesure, je dirais presque en demeure, par cette publication d'agir auprès de leurs représentants officiels et de leur signaler ce qu'ils pourraient trouver vexatoire, ou inutilement formaliste ; il leur sera infiniment plus facile d'obtenir les modifications jugées admissibles avant que le futur règlement ne soit revêtu de la sanction administrative.

Je n'ai point fermé ce livre sans une certaine tristesse : les auteurs n'ont pas manqué de citer, toutes les fois que l'occasion se présentait, les noms français qu'ils pouvaient relever ; mais combien rares ont été ces occasions !

L'esprit d'invention n'a pas dégénéré chez nous, mais il ne peut porter ses fruits que lorsqu'il est soutenu par l'argent ; tandis que les capitaux américains et allemands s'engageaient hardiment dans l'industrie électrique, les capitaux français ont cru sage de s'abstenir. Il est légitime que les premiers récoltent après avoir semé, et semé largement, car les insuccès ont été nombreux dans les débuts. Mais aujourd'hui encore, il y a bien des questions non résolues : les caniveaux et les contacts superficiels n'en sont qu'à la période d'essai,

Digitized by Google

et, si la construction des moteurs, les procédés de réglage de la vitesse sont arrivés à un haut degré de perfection, les derniers progrès sont si récents qu'on ne saurait leur attribuer un caractère définitif.

En continuant à observer une attitude aussi prudente, en face du développement certain de la traction électrique dans le monde entier, l'industrie française se ferme le marché extérieur et laisse aux filiales des sociétés étrangères le champ libre sur le marché intérieur.

Puisse la lecture de cet ouvrage donner à nos constructeurs une confiance suffisante dans le développement prochain et considérable de la traction électrique pour les décider à imiter nos voisins allemands et suisses en créant à leur tour un matériel original et en développant leur outillage en vue d'une plus rapide production.

A. POTIER,
de l'Institut.

Digitized by Google

# AVANT-PROPOS DES AUTEURS

On confond ordinairement sous le nom de traction électrique deux objets bien différents : l'emploi du moteur électrique comme agent de traction et la distribution de l'énergie électrique aux véhicules. Le premier constitue la principale caractéristique du système ; le second est un cas particulier de la transmission de l'énergie, compliqué, il est vrai, par le déplacement des appareils récepteurs.

L'électricité a pris aujourd'hui une place si importante dans l'industrie des transports qu'il nous a paru nécessaire de séparer ces deux questions, afin de pouvoir donner à chacune d'elles tout le développement qu'elles comportent et qu'elles n'ont pas reçu jusqu'ici.

Le présent ouvrage est consacré à la technique de la *traction* électrique proprement dite. Il comprend deux parties principales, traitant l'une du matériel roulant des tramways et chemins de fer électriques[1], l'autre des conditions de production et d'utilisation de l'effort moteur. Nous avons cru devoir y joindre, comme compléments naturels de ce sujet, une étude pratique de la voie de roulement des tramways électriques, un exposé des procédés de freinage applicables aux automobiles électriques et deux appendices relatifs l'un aux frais d'établissement et d'exploitation, l'autre aux questions de sécurité publique.

[1] Nous avons laissé de côté la question des automobiles sur routes, qui n'intéresse pas les mêmes lecteurs et ne se rattache pas directement à notre sujet, les conditions du problème étant tout à fait différentes.

Digitized by Google

La production et la distribution de l'énergie feront l'objet d'une seconde et prochaine publication[1].

Notre exposé, dans lequel nous avons réservé une place prépondérante à l'étude, en grande partie inédite, des *principes* de construction et des *méthodes* d'utilisation et d'expérimentation du matériel, suppose le lecteur déjà familiarisé avec les lois fondamentales de l'électricité et les propriétés principales des machines dynamo-électriques ; nous nous sommes par suite complètement abstenus de rappeler celles-ci, préférant renvoyer aux classiques *Leçons sur l'Électricité* d'Éric Gérard ou aux autres traités ou manuels généraux existants.

Nous avons seulement cru devoir donner à l'étude des moteurs, au point de vue de leur adaptation à la traction, des développements que ne peut embrasser un cours général d'électricité et que les spécialistes ont cependant intérêt à connaître.

Dans le même esprit, nous avons évité autant que possible de reproduire des descriptions qui auraient fait double emploi avec d'autres publications, notamment en ce qui touche aux voies et matériels de chemins de fer, pour lesquels il existe déjà de nombreux ouvrages spéciaux, notamment le Traité classique de Couche et l'excellent Cours de M. Bricka.

Mais nous avons été amenés à développer certaines questions de traction, notamment l'étude des régimes d'accélération, par suite de l'intérêt spécial qu'elles nous ont paru présenter, principalement pour la traction électrique des trains de métropolitains, question actuellement tout à fait à l'ordre du jour.

Nous avons cherché avant tout à dégager des leçons de l'expérience des idées générales qui puissent servir de guide durable dans la recherche de nouveaux perfectionnements ; la partie documentaire, sans avoir été sacrifiée, n'intervient d'ordinaire qu'à titre d'indications historiques ou d'exemples pour éclaircir une théorie, un système de construction ou une application[2]. De

[1] L'œuvre entière comprendra ainsi trois volumes ; bien qu'elle soit le résultat d'une complète collaboration, les parties relatives aux appareils électriques, à la traction, à la distribution et à la sécurité ont été plus particulièrement rédigées par M. A. Blondel et les parties relatives au matériel roulant, aux canalisations, à l'usine génératrice et à l'exploitation par M. F. Paul-Dubois.

[2] Pour mieux faire ressortir les généralités, nous avons mis en petits caractères

Digitized by Google

même, les renseignements commerciaux, constamment variables, ont été réduits à des moyennes et à quelques exemples. Du reste, les publications sur les installations de traction électrique anciennes et nouvelles sont aujourd'hui si nombreuses que des descriptions monographiques détaillées nous ont paru n'avoir plus de raison d'être dans un ouvrage didactique dont le but essentiel est de mettre les lecteurs en état de se tenir ensuite eux-mêmes au courant des applications nouvelles et des progrès de chaque jour par la lecture des périodiques spéciaux.

Nous avons cité autant que possible en note les sources imprimées auxquelles nous avons puisé et nous les avons réunies d'autre part, avec toutes les publications beaucoup plus nombreuses qui nous ont paru pouvoir offrir de l'intérêt pour les lecteurs, dans un Index bibliographique placé à la fin de l'ouvrage. Mais la majeure partie de nos documents ont été soit recueillis sur place par M. Paul-Dubois, au cours de plusieurs voyages en Europe et aux États-Unis, soit communiqués gracieusement par des ingénieurs et constructeurs.

Nous sommes heureux de pouvoir exprimer notre sincère reconnaissance à ceux-ci, ainsi qu'aux revues techniques, *Street Railway Journal*, *Street Railway Review*, *Electrical World*, *Éclairage Électrique*, *Electrical Review*, qui ont bien voulu nous autoriser à employer quelques-uns de leurs clichés [1]. Nous devons aussi des remercîments tout spéciaux à notre ancien maître vénéré, M. le professeur A. Potier, qui a bien voulu nous guider de ses précieux conseils, à M. le Dr Pirani, à M. le professeur Elihu Thomson, qui nous ont fourni avec une extrême obligeance d'intéressants et nombreux renseignements.

Nous mentionnerons enfin que M. E. Jigouzo et M. Dobkévitch, ingénieurs, anciens élèves du Laboratoire central d'Électricité, nous ont prêté un excellent concours pour l'étude de nos exemples numériques originaux, et M. Lartigue, conducteur des ponts et chaussées et municipal, pour la revision du texte.

ou en annexes les renseignements documentaires, règlements ou compléments de théorie qui n'ont pas un caractère essentiel.

[1] Nous avons trouvé en outre d'intéressants renseignements dans l'*Industrie Electrique*, *The Electrician*, *The Electrical Engineer*, *Elektrotechnische Zeitschrift*, *Zeitschrift für Elektrotechnik*, *Zeitschrift für Kleinbahnen*, *Railway Gazette*, etc.

Digitized by Google

Nous n'avons pas besoin de dire que nous avons cherché à rendre uniformes les notations et les unités adoptées dans cet ouvrage en nous conformant autant que possible au système international recommandé par les Congrès des électriciens [1].

Paris, 1er juin 1898.

[1] Voir la dernière annexe à la fin du tome I.

Parmi les unités mécaniques, si nous avons conservé le cheval-vapeur comme unité de puissance pratique ou plutôt commerciale, c'est seulement pour faciliter les évaluations comparatives aux lecteurs habitués à cette unité ; mais nous avons préféré, là où cet intérêt n'existait pas, le kilogrammètre par seconde ou le kilowatt.

Digitized by Google

# TABLE ANALYTIQUE DES MATIÈRES

Notations et abréviations . . . . . VII
Préface de M. Potier, membre de l'Institut . . . . . IX
Avant-propos des auteurs . . . . . XIII
Table analytique des matières . . . . . XVII

## TOME I

### CHAPITRE PREMIER

#### HISTORIQUE

Les précurseurs . . . . . 1
Les inventeurs européens (1879-1883) . . . . . 3
Les inventeurs américains (1883-1888) . . . . . 13
Le grand « boom » américain . . . . . 22
La situation européenne . . . . . 24
Les progrès récents et l'avenir . . . . . 30

## VOIE FERRÉE

### CHAPITRE II

#### TYPES DE VOIE

Généralités . . . . . 41

§ 1. — Voies en accotement

§ 2. — Voies en chaussée

Voies sur chaussée pavée . . . . . 44
1° Rails à gorge . . . . . 44
Voies Broca, Phœnix, etc. . . . . 44
Voie Humbert . . . . . 50



Digitized by Google

Rails-poutres américains . . . . . 52
2° Voies formées de rails et de contre-rails . . . . . 55
Voies sur chaussée empierrée . . . . . 58

## CHAPITRE III

### EXÉCUTION DES VOIES

§ 1. — NATURE DU MÉTAL EMPLOYÉ DANS LA FABRICATION DES RAILS

§ 2. — POSE DE LA VOIE

Fondation . . . . . 62
Largeur de la voie . . . . . 63
Courbes . . . . . 66
Soins à donner à la pose . . . . . 66

§ 3. — VOIES SOUDÉES

Généralités . . . . . 67
Résistance et stabilité des voies soudées . . . . . 69
Soudure électrique . . . . . 74
Soudure à la fonte . . . . . 79

§ 4. — APPAREILS DE VOIE

§ 5. — DÉPENSES D'ÉTABLISSEMENT DES VOIES

---

# MATÉRIEL ROULANT

## CHAPITRE IV

### ADAPTATION DES MOTEURS ÉLECTRIQUES A LA TRACTION SUR LES VOIES FERRÉES

Position, puissance et nombre des moteurs sur une automobile . . . . . 97
Nécessité d'une transmission de mouvement entre le moteur et l'essieu d'une automobile . . . . . 102
Vitesse des véhicules . . . . . 103
Diamètre des roues . . . . . 104
Réduction de vitesse . . . . . 105
Divers systèmes de transmission avec réduction de vitesse . . . . . 105
Courroies ou cordes . . . . . 105
Chaînes . . . . . 106
Rouleaux de friction . . . . . 108
Vis sans fin . . . . . 109
Engrenages coniques . . . . . 115
Engrenages cylindriques . . . . . 116
1° Engrenages à double réduction . . . . . 116
2° Engrenages à simple réduction . . . . . 118
Comparaison . . . . . 121
Suspension des moteurs . . . . . 123
Effet du couple de réaction sur la suspension . . . . . 131
Emploi des moteurs sans réduction de vitesse . . . . . 132
1° Système à accouplement direct . . . . . 133
2° Système à accouplement indirect par bielles . . . . . 135
Relation entre la vitesse des voitures et le coefficient de réduction à choisir . 139

Digitized by Google

## CHAPITRE V

### MOTEURS DE TRACTION

#### § 1. — Évolution des types de moteurs de traction

Anciens types à grande vitesse . . . . . 142
Premiers moteurs à vitesse lente . . . . . 144
Premiers moteurs sans réduction . . . . . 147
Premiers moteurs cuirassés . . . . . 151

#### § 2. — Dispositions des moteurs modernes

Conditions à remplir au point de vue mécanique . . . . . 153
1° Construction compacte . . . . . 153
2° Préservation des organes . . . . . 154
3° Accessibilité et remplacement facile des organes . . . . . 154
4° Solidité et résistance aux conditions d'emploi . . . . . 156
5° Préservation de l'humidité . . . . . 157
Conditions qui influent sur les dispositions électriques . . . . . 157
1° Faible poids et faible vitesse . . . . . 157
2° Conservation du collecteur . . . . . 160
a) Grand nombre de touches au collecteur . . . . . 160
b) Emploi de balais en charbon . . . . . 160
c) Faible rapport de la réaction d'induit à l'excitation des inducteurs . . 161
3° Bonne conservation des enroulements inducteurs . . . . . 163
4° Grande élasticité de régime . . . . . 164
5° Bon rendement moyen . . . . . 166
Dispositions générales . . . . . 167
Cuirasse ou enveloppe . . . . . 167
Inducteurs . . . . . 170
Induit . . . . . 172
Bobinage des induits . . . . . 177
Collecteurs . . . . . 183
Puissance et rendement des moteurs . . . . . 185
Poids et prix . . . . . 189

#### § 3. — Description de quelques moteurs

*Types américains.*

Moteurs de la General Electric Co . . . . . 191
Moteur G. E. 800 . . . . . 191
Moteur G. E. 1000 . . . . . 198
Moteurs Westinghouse . . . . . 205
Moteurs Walker . . . . . 208

*Types européens.*

Compagnie française Thomson-Houston, Compagnie anglaise Thomson-Houston et Union Elektricitäts-Gesellschaft . . . . . 216
Siemens und Halske et Société alsacienne de Constructions mécaniques . . . . 217
Allgemeine Elektricitäts-Gesellschaft et Compagnie de Fives-Lille . . . . . 219
Compagnie de l'Industrie électrique et Usines du Creusot . . . . . 223
Autres moteurs construits en France . . . . . 225
Ateliers d'Oerlikon . . . . . 227
Société anonyme Schuckert et Cie et MM. Bouckaert et Cie . . . . . 229
Société d'électricité Kummer et Cie, à Dresde . . . . . 230

Digitized by Google

Ganz et Cie à Budapest . . . . . 231
Remarque sur les comparaisons entre les divers moteurs. . . . . 233

### § 4. — Moteurs de traction a courants alternatifs

Types applicables à la traction. . . . . 234
Moteurs synchrones simples et polyphasés. . . . . 234
Moteurs asynchrones . . . . . 237
Construction des moteurs polyphasés . . . . . 239
Modes de bobinage pour moteurs de traction. . . . . 242
Cylindre extérieur. . . . . 242
Cylindre intérieur . . . . . 246
Connexions des enroulements . . . . . 247
Choix du cylindre inducteur et du cylindre induit . . . . . 249
Exemples de moteurs polyphasés de traction. . . . . 251
Projet d'un moteur triphasé . . . . . 254
Inducteur. . . . . 254
Induit. . . . . 254
Difficultés que présente encore la construction de ces moteurs . . . . . 255

## CHAPITRE VI

### VOITURES AUTOMOBILES

Principe de la séparation du truck et de la caisse . . . . . 256

### § 1. — Trucks d'automobiles de tramways

Généralités . . . . . 257
Conditions à remplir . . . . . 258
Trucks à deux essieux parallèles . . . . . 259
Matériel américain . . . . . 260
Matériel européen . . . . . 268
Trucks à deux essieux convergents . . . . . 281
Trucks à trois essieux. . . . . 282
Trucks articulés ou bogies. . . . . 285
Poids des trucks . . . . . 290
Détails de construction . . . . . 291
Châssis . . . . . 291
Ressorts de suspension . . . . . 292
Essieux . . . . . 294
Boîtes à graisse et coussinets . . . . . 298
Roues. . . . . 302

### § 2. — Caisses d'automobiles de tramways

*Matériel américain.*

Exemples. . . . . 311
Dimensions . . . . . 318
Mode de construction. . . . . 322

*Matériel européen.*

Exemples. . . . . 333
Poids des voitures électriques . . . . . 343
Remarques sur le choix des voitures . . . . . 347

### § 3. — Automobiles de chemins de fer

Conditions d'emploi des automobiles sur les chemins de fer . . . . . 353
Caractères généraux des automobiles de chemins de fer . . . . . 356

Digitized by Google

Trucks . . . . . 356
Caisses . . . . . 359
Matériel des chemins de fer secondaires . . . . . 360
Matériel des métropolitains . . . . . 371

### § 4. — Automobiles a accumulateurs

### § 5. — Équipement électrique, éclairage et chauffage des automobiles

Équipement électrique . . . . . 384
Éclairage . . . . . 385
Chauffage . . . . . 388
Radiateurs du premier type . . . . . 392
Radiateurs du deuxième type . . . . . 394
Dispositions des circuits sur une voiture . . . . . 396
Circuits du plafond . . . . . 396
Circuits du plancher . . . . . 397
Emploi de deux régulateurs . . . . . 397
Circuit de chauffage . . . . . 398
Cas où l'on emploie des voltages différents . . . . . 398

### § 6. — Appareils accessoires

Attelages . . . . . 399
Chasse-corps et protecteurs . . . . . 400
Balais . . . . . 404
Boîtes à sable . . . . . 404

### § 7. — Voitures électriques spéciales

Machines à neige . . . . . 405
Voitures d'arrosage, balayeuses . . . . . 409

### § 8. — Prix des automobiles électriques

## CHAPITRE VII

## LOCOMOTIVES ÉLECTRIQUES

Généralités . . . . . 412

### § 1. — Évolution du type de la locomotive électrique

Premières locomotives construites en Amérique . . . . . 414
Premières locomotives construites en Europe . . . . . 416
Locomotives du City and South London Railway . . . . . 417
Autres locomotives anciennes . . . . . 420
Locomotives récentes . . . . . 423
Premiers essais de traction sur les grandes lignes . . . . . 425
Locomotive du Nord . . . . . 426
Locomotive de l'Ouest . . . . . 427
Locomotive de l'État belge . . . . . 427
Locomotive du P.-L.-M . . . . . 430

### § 2. — Dispositions des locomotives modernes

Généralités . . . . . 431
Adaptation des moteurs électriques aux locomotives . . . . . 436
Construction du châssis . . . . . 439

Digitized by Google

### § 3. — Description de quelques types modernes pour grandes lignes de chemins de fer

Locomotives de la General Electric Co. . . . . 449
Locomotives et locomotrices électriques des Ateliers Baldwin de Philadelphie et de la Compagnie Westinghouse de Pittsburg . . . . . 460
Locomotives automotrices Heilmann . . . . . 467
Truck moteur. . . . . 470
Machines génératrices. . . . . 474
Tender moteur Heilmann . . . . . 477
Locomotive Heilmann à alimentation extérieure . . . . . 477
Locomotive électrique automotrice Walkins . . . . . 478

### § 4. — Comparaison entre les locomotives électriques et les locomotives a vapeur

Comparaison entre les locomotives à vapeur et électriques au point de vue des dispositions générales . . . . . 481
Poids, puissance et rendement des locomotives électriques à alimentation extérieure. . . . . 487
Conclusions en ce qui concerne la traction électrique par locomotives à alimentation extérieure; cas d'emploi de ce mode de traction sur les chemins de fer. . . . . 497
Poids, puissance et rendement des locomotives électriques automotrices. . . . 502
Conclusions relatives aux locomotives automotrices . . . . . 507

### § 5. — Locomotives industrielles pour mines, chantiers, usines, etc.

Généralités . . . . . 509
Avantages de la traction électrique dans les mines, chantiers, etc. . . . . 510
Premières applications . . . . . 512
Construction des locomotives industrielles . . . . . 516
1° Locomotives à moteurs compris dans le truck. . . . . 517
2° Locomotives à moteurs surélevés. . . . . 518
Description de quelques locomotives industrielles . . . . . 519
Emploi d'accumulateurs sur les locomotives de mines . . . . . 542

### § 6. — Prix des locomotives électriques

---

# TOME II

## CHAPITRE VIII

### MATÉRIELS APPLICABLES A DES CAS SPÉCIAUX : SERVICES A GRANDE VITESSE ; MONORAILS ; LIGNES A FORTES RAMPES

### § 1. — Matériels spéciaux pour grandes vitesses

Généralités . . . . . 1
Exemples . . . . . 3
Conditions dans lesquelles pourrait être réalisée pratiquement la traction à grande vitesse. . . . . 8
Avenir de la traction électrique à grande vitesse . . . . . 11

Digitized by Google

### § 2. — Matériels monorails

Généralités . . . . . 12
Système à cacolet . . . . . 12
Système bicycle . . . . . 19
Avenir des systèmes monorails . . . . . 20

### § 3. — Traction sur fortes rampes

Généralités . . . . . 22

#### I. — *Système à contrepoids.*

Exemple d'installation à contrepoids séparé (Providence) . . . . . 25
Exemple d'installation à équilibrage de voitures (San Francisco) . . . . . 29

#### II. — *Système à crémaillère.*

Généralités et historique . . . . . 31
Choix entre les divers types de crémaillère . . . . . 32
Systèmes de traction électrique applicables sur crémaillère . . . . . 34
Adaptation des moteurs au matériel roulant à crémaillère . . . . . 37
1° Matériel à action simple . . . . . 38
2° Matériel à action mixte . . . . . 41
3° Matériel pour lignes à crémaillère et à adhérence . . . . . 43
4° Matériel applicable à la crémaillère Locher . . . . . 44
Exemples d'application . . . . . 44
Poids du matériel électrique à crémaillère . . . . . 59
Prix d'établissement d'une crémaillère . . . . . 60
Comparaison entre le système à crémaillère et le système à contrepoids . . . 61

---

# TRACTION

## CHAPITRE IX

## FONCTIONNEMENT DES MOTEURS DE TRACTION A COURANT CONTINU

### § 1. — Principes généraux

Généralités . . . . . 65
Production de l'effort moteur et du mouvement . . . . . 66
1° Champs magnétiques . . . . . 66
2° Effort moteur . . . . . 66
3° Force contre-électromotrice . . . . . 67
4° Réaction d'induit . . . . . 68
Puissance et rendement . . . . . 68
Couple et vitesse . . . . . 70
1° Facteurs dont dépend la vitesse . . . . . 70
2° Facteurs qui déterminent la valeur du couple . . . . . 71
Courbes caractéristiques . . . . . 74
Stabilité de marche . . . . . 75

### § 2. — Propriétés des moteurs suivant leur mode d'excitation

Modes d'excitation des inducteurs . . . . . 76
Moteur à excitation constante . . . . . 77
Moteur en dérivation alimenté à potentiel constant . . . . . 83

Digitized by Google

Moteur en série alimenté à potentiel constant . . . . . 85
Détermination des courbes de fonctionnement d'un moteur en série d'après sa courbe d'excitation . . . . . 91
Effet d'une modification de l'enroulement induit . . . . . 95
Choix entre ces modes d'excitation . . . . . 96
Inconvénients des moteurs en dérivation . . . . . 96
Avantages de l'excitation constante . . . . . 99
Inconvénients des moteurs en série . . . . . 101
Avantages de l'excitation en série . . . . . 101
Conclusions . . . . . 103
Excitation compound . . . . . 104
Régimes d'un moteur excité en compound . . . . . 105
Excitation mixte . . . . . 106
Alimentation des moteurs à tension variable . . . . . 109
Alimentation des moteurs à intensité constante . . . . . 115

### § 3. — Mode d'accouplement électrique des moteurs d'une même voiture

Cas de deux moteurs . . . . . 116
1° Moteurs excités en série . . . . . 117
Inconvénients des groupements mixtes . . . . . 117
Vitesses . . . . . 119
Inégalité des courants . . . . . 120
2° Moteurs excités en dérivation ou à excitation indépendante . . . . . 121
Accouplement d'un nombre de moteurs supérieur à deux . . . . . 122
Régimes des moteurs accouplés . . . . . 123

## CHAPITRE X

### RÉGULATION DE LA VITESSE DES VOITURES

Objet de la régulation . . . . . 125
Conditions pratiques d'une bonne régulation . . . . . 126

### § 1. — Méthodes de régulation

Principe des méthodes employées . . . . . 126

#### I. — *Régulation à potentiel constant.*

*A.* — Variation du voltage aux bornes, méthode du rhéostat . . . . . 128
Régimes d'un moteur muni d'une résistance en série avec l'induit . . . . . 130
*B.* — Variation de l'excitation . . . . . 133
1° Moteur excité en dérivation ou séparément, méthode du rhéostat de champ. 133
Régimes d'un moteur shunt sous des excitations variables . . . . . 136
2° Moteur excité en série, méthode de commutation ou de shuntage des bobines de champ . . . . . 137
Régimes d'un moteur en série à excitation variée . . . . . 143
Méthodes mixtes . . . . . 148
*C.* — Changement de couplage des moteurs, méthode « série-parallèle » . . . . 150
Régimes obtenus par la méthode série-parallèle . . . . . 155
*D.* — Variation du bobinage de l'armature, méthode du double induit . . . . 156

#### II. — *Régulation par variation de potentiel.*

Régimes d'un moteur soumis à des voltages variés aux bornes . . . . . 159
Méthode de la variation d'excitation de la génératrice . . . . . 160
Analyse de la méthode de régulation Heilmann . . . . . 164
Méthode des accumulateurs à groupements variables . . . . . 166
Méthode des accumulateurs en série . . . . . 169

Digitized by Google

### III. — *Choix entre les diverses méthodes de régulation.*

Voitures à alimentation extérieure . . . . . 170
Conclusions . . . . . 175
Cas des voitures automotrices . . . . . 176

### § 2. — Combinaisons accessoires de la régulation

Inversion de marche . . . . . 177
Récupération de l'énergie . . . . . 178
Régimes d'un moteur marchant en récupération . . . . . 179
Emploi des moteurs comme freins . . . . . 180
1° Freinage par inversion de marche . . . . . 181
2° Freinage par mise en court-circuit . . . . . 182

### § 3. — Appareils employés pour la régulation

Régulateurs . . . . . 184
Rhéostats . . . . . 185
Inverseurs . . . . . 193
Commutateurs . . . . . 195
Servo-moteurs ; manœuvre à distance . . . . . 201
Combinaison du commutateur et de l'inverseur . . . . . 202
Suppression de l'inversion de marche sur les tramways . . . . . 205
Connexions pour le freinage . . . . . 206
Représentation pratique des combinaisons réalisées par les régulateurs . . . . 206
Organes accessoires de l'équipement d'une voiture . . . . . 207
Interrupteur . . . . . 207
Coupe-circuit . . . . . 210
Disjoncteur automatique . . . . . 212
Parafoudre . . . . . 214

### § 4. — Exemples des divers systèmes de régulation

*Régulation par rhéostat.*

Dispositif Thomson-Houston . . . . . 216
Dispositif de la General Electric Co . . . . . 217
Dispositif Thury (1893) . . . . . 218
Dispositifs des Ateliers d'Oerlikon (1892 et 1894) . . . . . 220
Dispositifs de Siemens et Halske et de la Société Alsacienne . . . . . 223

*Régulation Sprague.*

Dernier dispositif de l'ancienne Compagnie Edison-Sprague . . . . . 226
Dispositifs de la Société de Fives-Lille et de l'Allgemeine Elektricitäts-Gesellschaft . . . . . 227
Dispositif de la Société Schuckert de Nuremberg . . . . . 228
Remarque . . . . . 229

*Régulation par shunt.*

Dispositif de la Société Schuckert . . . . . 230
Dispositif de la Société Kummer . . . . . 231
Régulation par excitation mixte . . . . . 235

*Régulation par changements de couplage dite série-parallèle.*

Dispositifs de la General Electric Co . . . . . 236
Dispositifs de la Compagnie Westinghouse . . . . . 246
Dispositifs de la Compagnie Walker . . . . . 246
Dispositifs de Siemens et Halske et de la Société Alsacienne de Constructions mécaniques . . . . . 248

Digitized by Google

Autres régulateurs série-parallèle construits en Europe . . . . . 252
Régulation série-parallèle pour l'excitation en dérivation . . . . . 254
Régulation des locomoteurs de l'État belge . . . . . 255
Régulation série-parallèle pour l'excitation mixte . . . . . 258

*Régulation des trains comprenant plusieurs automobiles.*

*Régulation des voitures à accumulateurs.*

Tramway de Berlin (1895) . . . . . 264
Tramways de Paris et du département de la Seine . . . . . 265
Tramway de Madison avenue . . . . . 267
Tramways de Hanovre . . . . . 268
Tramway de Hagen . . . . . 271

§ 5. — RÉGULATION A COURANT CONSTANT

Méthodes et appareils . . . . . 273
Avantages de ce mode de régulation . . . . . 274

§ 6. — SYSTÈMES DIVERS PROPOSÉS COMME AUXILIAIRES DE LA RÉGULATION DE VITESSE

Transmissions à réduction variable . . . . . 274
Emploi d'embrayages associés à des moteurs tournant constamment . . . . 277

## CHAPITRE XI

### FONCTIONNEMENT ET RÉGULATION DES MOTEURS DE TRACTION A COURANTS ALTERNATIFS

Objet de ce chapitre . . . . . 280

§ 1. — FONCTIONNEMENT NORMAL

Champs magnétiques tournants . . . . . 281
Principe du fonctionnement d'un moteur à champs tournants . . . . . 283
Analogies et différences entre les moteurs à courants polyphasés et les moteurs à courant continu ; courbes caractéristiques . . . . . 285
Théorie plus complète . . . . . 290
Influence des éléments de construction . . . . . 297

§ 2. — RÉGULATION DE MARCHE

Marche à vitesse constante . . . . . 298
1° Variation de la tension aux bornes . . . . . 300
Régimes d'un moteur quand on change le voltage aux bornes ou les connexions du bobinage . . . . . 302
2° Modification des enroulements inducteurs . . . . . 303
3° Groupements série-parallèle . . . . . 305
Variation de la vitesse . . . . . 306
1° Méthode du rhéostat . . . . . 306
Régimes d'un moteur avec résistances supplémentaires dans l'induit . . 309
2° Méthode de la commutation des pôles . . . . . 312
3° Méthode du changement de fréquence . . . . . 313
4° Méthode du groupement en « cascade » ou « tandem » . . . . . 314
Démarrage . . . . . 317
Régulateurs . . . . . 318
Inversion de marche . . . . . 321
Récupération . . . . . 322

Digitized by Google

Freinage électrique . . . . . 323
Applications. . . . . 325
Propriétés des moteurs à courants alternatifs simples au point de vue de la traction. . . . . 326
Moteurs asynchrones . . . . . 326
Moteurs synchrones. . . . . 327
Avantages et inconvénients des moteurs polyphasés comparés aux moteurs à courant continu . . . . . 327
Cas d'emploi des moteurs à courants alternatifs dans la traction électrique. . 330
Équipements mixtes. . . . . 334

## CHAPITRE XII

### CONDUITE, ENTRETIEN ET ESSAIS DES MOTEURS ET DU MATÉRIEL ROULANT

#### § 1. — Conduite des voitures

Visite préalable de l'équipement . . . . . 336
Mise en marche . . . . . 338
Arrêts. . . . . 339
Changement de marche . . . . . 339
Précautions à prendre pendant la marche . . . . . 340
Dérangements. . . . . 341

#### § 2. — Entretien et réparations

Enveloppe. . . . . 343
Coussinets. . . . . 344
Graissage. . . . . 345
Bobines d'inducteurs . . . . . 346
Armature. . . . . 347
Inégalité des champs des moteurs d'un équipement double ou multiple. . . . 348
Démontage des armatures. . . . . 349
Arbre. . . . . 350
Collecteur et balais. . . . . 352
Engrenages. . . . . 356
Régulateurs et accessoires. . . . . 357
Usure et frais d'entretien . . . . . 358

#### § 3. — Essais des moteurs de traction

Généralités . . . . . 363

I. — *Essais de fonctionnement.*

Mesures de couple et de vitesse . . . . . 363
Mesures de rendement. . . . . 366
Méthode du Dr Hopkinson . . . . . 367
Méthode de M. Potier . . . . . 367
Méthode de Hutchinson. . . . . 368
Méthode de A. Blondel. . . . . 370
Méthode indirecte de M. Swinburne et de M. Housman. . . . . 371
Mesures de température. . . . . 372

II. — *Mesures au repos.*

Mesures d'isolement. . . . . 373
Mesures en cours de construction . . . . . 373
Mesures en service . . . . . 373

Digitized by Google

Mesures de résistance . . . . . 377
Essais rapides. . . . . 380

### § 4. — Essais de voitures équipées

Généralités . . . . . 382

#### I. — *Méthodes de mesures.*

Mesures de vitesse. . . . . 383
Méthodes chronométriques. . . . . 383
Méthodes tachométriques . . . . . 384
Mesures électriques . . . . . 386
Mesures mécaniques. . . . . 391
Méthodes chronométriques . . . . . 391
Méthodes dynamométriques . . . . . 393
Emploi de l'ampèremètre comme dynamomètre . . . . . 395
Mesures de rendement. . . . . 397
Installation d'un véhicule d'expériences pour la traction électrique. . . . . 398

#### II. — *Dépouillement et analyse des résultats.*

Détermination du coefficient de traction moyen. . . . . 399
Essais de consommation et de fonctionnement général. . . . . 400
Essais simples de consommation. . . . . 404
Essais plus complexes. . . . . 411
Essais de l'état de la voie . . . . . 412

### § 5. — Spécifications de moteurs de traction

Généralités . . . . . 414
Spécifications sommaires . . . . . 415
*Modèle de spécification américaine pour moteurs* . . . . . 416
Spécifications détaillées . . . . . 416
*Modèle de spécification détaillée* (pour moteurs séparés et pour voitures tout équipées) . . . . . 420
Fourniture . . . . . 420
Voitures . . . . . 420
Moteurs. . . . . 421
Régimes. . . . . 423
Engrenages . . . . . 425
Garantie d'entretien . . . . . 425
Appareils accessoires . . . . . 425
Réception. . . . . 427

## CHAPITRE XIII

### RÉSISTANCE ET TRACTION DU MATÉRIEL ROULANT ÉLECTRIQUE

Généralités . . . . . 429

### § 1. — Travail mécanique nécessaire a la traction

Éléments composant l'effort résistant d'un véhicule ordinaire. . . . . 429
Résistance au roulement . . . . . 431
Résistance de l'air. . . . . 435
Résistance due à la pesanteur . . . . . 442
Résistance due aux courbes . . . . . 443
Résistance due à l'accélération. . . . . 446
Résistance à la traction d'une automobile actionnée par ses moteurs. . . . . 450

Digitized by Google

Résistance d'une automobile à la remorque . . . . . 453
Valeurs pratiques de l'effort résistant total moyen sur les tramways à faibles déclivités . . . . . 454
Valeurs pratiques de l'effort résistant total sur les chemins de fer . . . . . 457
Conditions de marche d'une voiture d'attelage ou d'une automobile sur une pente . . . . . 460
Travail mécanique total nécessaire sur une ligne de tramway . . . . . 461
Calcul de la puissance à la jante nécessaire . . . . . 462
Coefficient de traction applicable dans les mines . . . . . 463
Coefficient de traction applicable sur crémaillère . . . . . 465

## § 2. — Traction

### I. — *Utilisation des moteurs électriques.*

Détermination du courant et de la vitesse que prendra une voiture équipée avec des moteurs en série aux divers points d'un parcours . . . . . 468
1° Calcul exact . . . . . 468
2° Calcul approximatif . . . . . 473
Exemple numérique . . . . . 474
Méthode plus parfaite . . . . . 476
Modification de la vitesse par changement des roues, des engrenages ou de l'enroulement induit . . . . . 477
Modification de la vitesse sur une rampe donnée par variation du champ ou de la tension . . . . . 479
Conditions pratiques du réglage de la vitesse . . . . . 481
Choix d'un moteur pour un service donné . . . . . 481
Remarques sur les équipements multiples . . . . . 483

### II. — *Mode d'application de l'effort moteur.*

Adhérence . . . . . 485
Conditions limites de marche d'une automobile . . . . . 488
Exemples . . . . . 491
Influence du type de truck et du mode d'équipement sur l'adhérence d'une automobile électrique . . . . . 492
Traction par locomotive . . . . . 493
Limites pratiques des rampes . . . . . 496
Durée minima des mises en vitesse . . . . . 497
Effets de patinage produits par les équipements multiples . . . . . 499
1° Moteurs couplés en série . . . . . 501
2° Moteurs couplés en parallèle . . . . . 502
Solidarisation des essieux . . . . . 504

### III. — *Influence du poids mort.*

Rôle du poids mort dans le rendement de la traction . . . . . 505
Influence du poids spécifique de l'organe moteur . . . . . 507
Application à la traction à grande vitesse . . . . . 508
Limitation des rampes dans la traction à faible vitesse . . . . . 512
Proportion du poids d'accumulateurs qui assure l'utilisation maxima d'un matériel . . . . . 515

### IV. — *Démarrage et accélération.*

Influence de l'inertie des roues et de l'armature des moteurs . . . . . 517
Étude du régime varié pendant la mise en marche. — Méthode générale . . . . 519
Formules algébriques approchées applicables aux tramways . . . . . 526
Méthode de l'accélération à effort moteur constant . . . . . 532
Conditions pratiques de la mise en vitesse . . . . . 537
Comparaison entre des mises en vitesse plus ou moins rapides réalisées avec un même équipement . . . . . 538

Digitized by Google

Valeur économique de l'accélération rapide sur une ligne à arrêts fréquents où la vitesse entre stations est fixée . . . . . 546
Valeur de l'accélération correspondant à la puissance minima des moteurs . . 532
Choix des moteurs pour les services à accélération rapide . . . . . 555
Limites pratiques de l'accélération dans la traction électrique ; supériorité de ce mode de traction à ce point de vue . . . . . 555
1° Adhérence . . . . . 556
2° Confort des voyageurs . . . . . 558
Effets de l'inertie pendant la marche . . . . . 561

### § 3. — Conditions pratiques d'application

#### I. — *Tramways.*

Caractère du service . . . . . 562
Difficultés d'un service de traction accéléré . . . . . 567
Divers modes d'exploitation . . . . . 569

#### II. — *Chemins de fer métropolitains.*

Conditions de la traction électrique sur les lignes métropolitaines . . . . . 570
Emploi de trains mixtes formés de voitures automobiles et de voitures ordinaires . . . . . 575
Exemples . . . . . 577
Emploi de trains composés entièrement d'automobiles . . . . . 584
Emploi de locomotives séparées . . . . . 585
Comparaison entre le système des locomotives et celui des locomotrices . . . . 586
Comparaison entre les moteurs avec et sans engrenages . . . . . 587

#### III. — *Chemins de fer.*

Services suburbains . . . . . 590
Services interurbains et services d'intérêt local . . . . . 594

## CHAPITRE XIV

## PUISSANCE ET ÉNERGIE ÉLECTRIQUES CONSOMMÉES SUR LES VOITURES ET A LA STATION GÉNÉRATRICE. — PROJETS DE TRACTION

### § 1. — Marche des véhicules

Horaire des départs . . . . . 599
Vitesses . . . . . 599
Graphique de marche . . . . . 602
Croisements et évitements . . . . . 604

### § 2. — Calcul de la puissance et de l'énergie en chaque point d'un parcours

Généralités . . . . . 608

#### I. — *Calcul complet.*

Profil en long . . . . . 608
Conditions de parcours sans arrêt d'une voiture ou d'un train sur une ligne de profil connu; graphiques de vitesses, d'efforts et de courants . . . . . 610
1re méthode . . . . . 610
2e méthode . . . . . 617
Parcours sur une ligne à arrêts nombreux en tenant compte des ralentissements et démarrages . . . . . 620
1° Tramways . . . . . 621

Digitized by Google

Démarrages . . . . . 621
Arrêts . . . . . 622
2° Projet de traction sur un métropolitain . . . . . 626
Données . . . . . 628
Détermination de la vitesse maxima nécessaire entre stations . . . . . 629
Choix des moteurs . . . . . 630
Calcul des vitesses et des temps de parcours . . . . . 631
Calcul des consommations d'énergie . . . . . 639

II. — *Calcul abrégé approximatif applicable aux tramways.*

Énergie électrique consommée sur une ligne . . . . . 640
Consommations spécifiques sur lignes à faibles rampes . . . . . 641
Consommation d'énergie supplémentaire sur les rampes et les courbes . . 642
Consommation d'énergie supplémentaire pour les démarrages . . . . . 642
Calcul du courant moyen . . . . . 644
Calcul du courant maximum et de la puissance des moteurs . . . . . 645
Exemple . . . . . 646
1° Consommations . . . . . 646
2° Puissance de traction des moteurs . . . . . 647

## § 3. — Données empiriques

Valeurs pratiques des rendements des moteurs . . . . . 649
Résultats d'expérience relatifs aux dépenses d'énergie sur les voitures . . . . 653
Essais du Dr F. Bedell à Rochester (1891) . . . . . 654
Essais de MM. Wood et Palmer à Buffalo (1892) . . . . . 655
Essais de MM. G. D. Shepardson et E. P. Burch à Minneapolis (1892) . . . 655
Essais de MM. J. Lyman et C. E. Hewitt à Ithaca . . . . . 655
Essais de M. H. S. Hering à Baltimore (1893-1894) . . . . . 656
Essais de M. G. F. Sever à Brooklyn (1895) . . . . . 656
Essais de MM. H. P. Curtiss et H. O. Pond sur le Buffalo and Niagara Falls Railway (1895) . . . . . 656
Essais de M. Vaughan . . . . . 656
Résultats d'exploitation des tramways de Montreal . . . . . 657
Essais effectués sur le réseau de la Consolidated Traction Co. du New Jersey 657
Essais faits à Saint-Louis . . . . . 658
Essais de Siemens et Halske à Budapest (1892) . . . . . 658
Essais faits sur les tramways de Paris et du département de la Seine . . . 659
Autres résultats d'expériences en France . . . . . 659
Essais de M. Dickinson sur la ligne de Walsall-Darlaston (1894) . . . . . 659
Essais de M. F. Ross à Hanovre . . . . . 660
Essais de M. Sieg à Cologne . . . . . 660
Données recueillies dans les stations centrales de tramways allemandes . . 660
Résultats d'exploitation de chemins de fer électriques . . . . . 661

## § 4. — Puissance des appareils producteurs d'énergie

Objet de ce paragraphe . . . . . 662

I. — *Traction par accumulateurs.*

Généralités . . . . . 663
Considérations qui déterminent le choix de la batterie . . . . . 663
1° Condition de débit . . . . . 664
2° Condition de capacité . . . . . 664
Divers modes d'exploitation possibles . . . . . 666
1° Exploitation avec une batterie de rechange pour chaque voiture . . . . 666
2° Exploitation avec des batteries à demeure sur les voitures . . . . . 666
1° Accumulateurs à charge lente . . . . . 667

Digitized by Google

2° Accumulateurs à charge partielle rapide . . . . . 668
Chiffres pratiques . . . . . 669
Calcul de la batterie . . . . . 670
Exemple numérique . . . . . 672
Puissance et énergie dépensées à l'usine . . . . . 673
Système de la charge à l'usine . . . . . 674
Système de la charge en des postes fixes extérieurs à l'usine . . . . . 675

II. — *Traction par alimentation directe.*

Oscillations de la puissance totale . . . . . 675
Calcul de la puissance totale consommée par les voitures . . . . . 676
Méthode du graphique du courant total . . . . . 677
Application au projet de métropolitain de la page 626 . . . . . 679
Cas des tramways . . . . . 681
Méthode de la loi des erreurs . . . . . 682
Influence de la variation du trafic sur la puissance totale consommée par les voitures . . . . . 683
Rendement général de l'installation et puissance à l'usine . . . . . 685
Barèmes pour le calcul des stations génératrices de tramways . . . . . 689
Choix des unités génératrices . . . . . 690
Égalisation de la charge . . . . . 693

III. — *Traction mixte.*

§ 5. — MOYENS A EMPLOYER POUR RÉDUIRE LES DÉPENSES D'ÉNERGIE

Moyens ordinaires . . . . . 697
Récupération de l'énergie sur les pentes . . . . . 700
Raisonnement approximatif . . . . . 701
Récupération réalisable à l'aide de moteurs donnés . . . . . 703
Récupération sur un profil donné . . . . . 705
Conclusions . . . . . 708
Récupération aux arrêts . . . . . 710

## CHAPITRE XV

### FREINAGE DES VOITURES ÉLECTRIQUES

§ 1. — DESCRIPTION ET EFFETS DES MOYENS ORDINAIRES DE FREINAGE (FREINS A MAIN)

Freins à sabots . . . . . 713
Freins à commande directe . . . . . 713
Freins à entraînement . . . . . 716
Autres freins appliqués à l'essieu . . . . . 722
Freins à patins . . . . . 723
Conditions spéciales aux tramways électriques . . . . . 724
Théorie du freinage . . . . . 725
Effet de la variation du coefficient de frottement avec la vitesse . . . . . 731
Freinage rationnel ; données pratiques . . . . . 734
Limites de sécurité qu'on peut obtenir sur les tramways avec des freins . . . 736
Freins spéciaux pour fortes pentes . . . . . 741
Calcul de la timonerie des freins à main . . . . . 742
Inconvénients des freins commandés à la main . . . . . 749

§ 2. — FREINS A COMMANDE MÉCANIQUE OU ÉLECTRIQUE

Freins pneumatiques . . . . . 752
Freins de tramways . . . . . 753

Digitized by Google

Freins de chemins de fer électriques . . . . . .
Inconvénients des freins pneumatiques . . . . . .
Freins électriques . . . . . .
1° Freins à entraînement . . . . . .
2° Freins-dynamos . . . . . .
3° Freinage par les moteurs . . . . . .
*a.* Inversion de marche . . . . . .
*b.* Mise en court-circuit . . . . . .
4° Freins électromagnétiques . . . . . .
Rôle des courants de Foucault dans les freins électromagnétiques . . . .
Avantages des freins électriques . . . . . .
Théorie du freinage électrique . . . . . .

## BIBLIOGRAPHIE

Traités et articles généraux . . . . . .
Ouvrages spéciaux : 1° Voie ferrée . . . . . .
2° Moteurs et équipements électriques, . . . . . .
3° Matériel roulant électrique . . . . . .
4° Traction . . . . . .
5° Installations particulières . . . . . .

## TABLE ALPHABÉTIQUE DES MATIÈRES

(pages 814 à 863).

---

# APPENDICES ET ANNEXES

*Intercalés à la suite du tome I.*

---

## APPENDICE N° 1

### DÉPENSES D'ÉTABLISSEMENT ET D'EXPLOITATION DES INSTALLATI DE TRACTION ÉLECTRIQUE

Généralités . . . . . .
Bases de comparaison . . . . . .

*Dépenses d'établissement.*

Prix unitaires . . . . . .
Voie ferrée . . . . . .
Canalisation électrique . . . . . .
Matériel roulant . . . . . .
Usine génératrice . . . . . .
Installations accessoires . . . . . .
Terrains . . . . . .
Frais généraux . . . . . .
Exemples d'application . . . . . .



Digitized by Google

*Dépenses d'exploitation.*

Prix unitaires . . . . . 563
Exemples d'application . . . . . 568
Systèmes de traction autres que le système à fil aérien . . . . . 571
Traction électrique des trains de chemins de fer . . . . . 573

## APPENDICE N° 2

### CONDITIONS DE SÉCURITÉ, RÉGLEMENTATION ET CONTRÔLE TECHNIQUE DES INSTALLATIONS DE TRACTION ÉLECTRIQUE

#### § 1. — Mesures de sécurité

Généralités . . . . . 575

I. — *Dangers provenant du matériel roulant électrique.*

Dangers d'une allure trop rapide . . . . . 576
Signaux avertisseurs . . . . . 577
Moyens d'arrêt . . . . . 577
Conduite des voitures . . . . . 578
Accès aux voitures . . . . . 579
Protection des voyageurs à l'intérieur des voitures . . . . . 579

II. — *Dangers des distributions d'énergie employées pour la traction électrique.*

Généralités . . . . . 580
Dangers de contact direct des personnes avec les fils ou câbles de distribution 581
1° Tramways à fils aériens . . . . . 583
2° Tramways à distribution superficielle . . . . . 586
3° Tramways à canalisation souterraine . . . . . 588
4° Chemins de fer électriques sur plate-forme-séparée . . . . . 588
Dangers de contact des fils distributeurs avec des fils étrangers . . . . . 588
Dangers d'échauffement par court-circuit sur le réseau . . . . . 590
Dangers d'échauffement dans les installations à basse tension par contact avec les fils de trôlet . . . . . 595
Dangers des décharges atmosphériques . . . . . 596

III. — *Dangers du retour par les rails ; phénomènes d'électrolyse.*

Généralités . . . . . 599
Circonstances dans lesquelles se produit l'électrolyse . . . . . 601
Appréciation du danger d'électrolyse . . . . . 602
Moyens à employer pour éviter les dangers de l'électrolyse . . . . . 605
Limitation de la différence de potentiel . . . . . 606
Moyens d'uniformiser le potentiel du réseau de retour . . . . . 609
Bonne conductance des voies . . . . . 609
Distribution par feeders . . . . . 611
Calcul de la chute de potentiel . . . . . 615
Protection des ponts métalliques . . . . . 617

IV. — *Perturbations causées aux communications télégraphiques et téléphoniques.*

Généralités . . . . . 618
Causes des perturbations . . . . . 619
Remèdes et correctifs . . . . . 620
Imputation des dépenses nécessitées par les modifications des lignes télégraphiques ou téléphoniques . . . . . 622

Digitized by Google

## § 2. — Réglementation technique des installations de traction électrique

Nécessité d'une réglementation générale . . . . . 623
Réglementation projetée en France . . . . . 624
Enquêtes . . . . . 625
Procédés actuels de réglementation . . . . . 626
Avant-projet . . . . . 627
Projet d'exécution . . . . . 627
Prescriptions de la loi du 23 juin 1895 . . . . . 628
Exécution des travaux et exploitation . . . . . 629
Principales prescriptions à introduire dans le cahier des charges ou l'arrêté préfectoral . . . . . 629
Projet de réglementation spéciale d'une exploitation de tramways électriques à fil aérien (ou à alimentation mixte), à introduire dans le cahier des charges ou dans un arrêté préfectoral . . . . . 630
*I. — Prescriptions administratives relatives aux installations fixes et au matériel roulant électriques* . . . . . 630
*II. — Prescriptions techniques relatives au matériel roulant* . . . . . 634
*III. — Prescriptions techniques relatives aux canalisations d'énergie* . . . . 635
*A.* — Conducteurs aériens . . . . . 636
*B.* — Conducteurs souterrains . . . . . 639
*C.* — Retour par les rails . . . . . 640
*IV. — Prescriptions administratives relatives à l'exploitation* . . . . . 642

## § 3. — Contrôle des installations de traction électrique

Rôle du contrôle . . . . . 645
Méthodes simples applicables au contrôle de la partie électrique d'une installation de traction . . . . . 646
Voltage et intensité maxima . . . . . 647
Isolement du réseau . . . . . 647
Recherche des défauts . . . . . 651
Résistances de la ligne et de la voie . . . . . 652
Différence de potentiel maxima entre les divers points de la voie . . . . . 653
Fonctionnement des feeders de retour . . . . . 654
Essais accessoires concernant l'électrolyse . . . . . 654
1° Mesure des différences de potentiel entre des masses métalliques et les rails. 655
2° Mesure de la résistance d'isolement des conduites par rapport aux rails . . 656

## ANNEXE N° 1

Matériels spéciaux pour chemins de fer métropolitains . . . . . 659
I. — Exemples de voitures locomotrices . . . . . 659
II. — Exemples de locomotives . . . . . 665

## ANNEXE N° 2

Renseignements complémentaires sur la construction des moteurs de traction. 673
I. — Moteur Labour de 6 chev. pour locomotives de mines . . . . . 673
II. — Moteur de tramways de 15 chev. des Ateliers d'Oerlikon . . . . . 674
III. — Moteurs de 80 chev. de la General Electric Co. (1897) pour lignes suburbaines . . . . . 766
IV. — Moteur Walker de 200 chev. à engrenages pour métropolitains . . 678
V. — Moteurs gearless de 150 et 200 chev. sans engrenages de Siemens et Halske et de la Société Alsacienne pour métropolitains . . . . . 682

Digitized by Google

ANNEXE N° 3

Exemple de calcul d'un moteur de traction à courant continu (moteur tétrapolaire de 50 chev. pour ligne d'intérêt local) . . . . . 684
Généralités. . . . . 684
Programme du calcul. . . . . 685
Calcul de l'induit. . . . . 686
Calcul des inducteurs . . . . . 688
Courbe d'excitation du moteur. . . . . 691
Courbes de fonctionnement et de rendement. . . . . 692
Surfaces de refroidissement du moteur; échauffement. . . . . 693

ANNEXE N° 4

Principaux types de voitures de tramways électriques construites par la J. G. Brill Company de Philadelphie . . . . . 696

ANNEXE N° 5

Cahier des charges américain pour la fourniture de caisses d'automobiles fermées . . . . . 701

ANNEXE N° 6

Cahier des charges américain pour la fourniture de trucks . . . . . 706

ANNEXE N° 7

Cahier des charges pour la fourniture des voitures du tramway électrique de Paris à Romainville. . . . . 710

ANNEXE N° 8

Soumission pour la fourniture de locomotives électriques type Baldwin-Westinghouse. . . . . 715

ANNEXE N° 9

Cahier des charges relatif à la fourniture d'automobiles électriques à moteurs gearless pour les chemins de fer de l'État belge . . . . . 719

ANNEXE N° 10

Instructions de la General Electric Company sur l'installation et la manœuvre des équipements de voitures de tramways électriques. . . . . 726

ANNEXE N° 11

Règlement spécial des mécaniciens du tramway électrique de Zurich. . . . . 733

ANNEXE N° 12

Extrait du règlement des conducteurs et mécaniciens des tramways de Hambourg. . . . . 739

ANNEXE N° 13

Règlement d'exploitation des tramways de Roubaix et Tourcoing. . . . . 744

Digitized by Google

LECTRIQUE

N° 3

à courant continu (moteur tétra-
l) . . . . . .
. . . . . .
. . . . . .
. . . . . .
. . . . . .
. . . . . .
. . . . . .
ent. . . . . .
chauffement. . . . . .

N° 4

électriques construites par la
. . . . . .

N° 5

rniture de caisses d'automobiles
. . . . . .

N° 6

ure de trucks . . . . . .

N° 7

oitures du tramway électrique de
. . . . . .

N° 8

es électriques type Baldwin-Wes-
. . . . . .

N° 9

automobiles électriques à moteur
belge . . . . . .

N° 10

sur l'installation et la manœuvre
électriques. . . . . .

N° 11

way électrique de Zurich. . . . .

N° 12

écaniciens des tramways de Ham-
. . . . . .

N° 13

Roubaix et Tourcoing. . . . . .

ANNEXE N° 14

Instructions de la Compagnie des tramways de Rouen sur le fonctionnement des voitures électriques . . . . . 74

ANNEXE N° 15

Instructions pour les mécaniciens des tramways électriques d'Angers. . . . . 75

ANNEXE N° 16

Règlement à l'usage du personnel affecté à la conduite des voitures électriques du réseau des tramways de la ville de Lyon . . . . . 75

ANNEXE N° 17

Réglementation du service des tramways à chevaux ou à traction mécanique de la ville de Lyon ou y aboutissant. . . . . 75

ANNEXE N° 18

Décret déclarant d'utilité publique l'établissement d'une ligne de tramways entre la ville de Belfort, ses faubourgs et la commune de Valdoie . . . . . 76

ANNEXE N° 19

Projet de loi sur les Distributions d'énergie . . . . . 77

ANNEXE N° 20

Arrêté du maire de la ville de Richmond (Virginie) pour prévenir la dégradation par l'électrolyse des conduites d'eau et de gaz. . . . . 7

ANNEXE N° 21

Règlement du « Board of Trade » du 6 mars 1894 relatif aux tramways électriques. . . . . 7

ANNEXE N° 22

Règlement du « Board of Trade » de juin 1894 relatif aux chemins de fer tubulaires à traction électrique. . . . . 7

ANNEXE N° 23

Règlement du « Board of Trade » du 22 novembre 1897 relatif à l'emploi de la traction électrique sur les tramways de Leeds. . . . . 7

ANNEXE N° 24

Prescriptions du ministère des Travaux Publics allemand relatives aux mesures à prendre pour la protection des lignes télégraphiques et téléphoniques contre les perturbations dues au voisinage des lignes de tramways électriques à courant continu. . . . . .

ANNEXE N° 25

Cahier des charges général pour la concession et l'établissement de nouvelles lignes de tramways à Berlin, dressé par la Commission municipale des moyens de transport de la ville de Berlin le 22 décembre 1897. . . . . .

Digitized by Google

## ANNEXE N° 26

Loi du 25 juin 1895 concernant l'établissement des conducteurs d'énergie électrique autres que les conducteurs télégraphiques et téléphoniques . . . . . 820

## ANNEXE N° 27

Extraits de l'Ordonnance générale de police du 31 août 1897 concernant la conduite et la circulation des appareils de locomotion de toute sorte dans Paris et les communes du ressort de la Préfecture de police. . . . . 822

## ANNEXE N° 28

Limites de vitesse et de tension électrique prescrites en Suisse par le Département fédéral des chemins de fer . . . . . 839

## ANNEXE N° 29

Symboles des quantités physiques et abréviations d'unités proposés par M. E. Hospitalier et recommandés par la Commission des notations de la Chambre des délégués du Congrès international des Électriciens de Chicago. 840

Digitized by Google

LECTRIQUE

I° 26

t des conducteurs d'énergie élec-
iques et téléphoniques . . . . . 329

° 27

du 31 août 1897 concernant la
omotion de toute sorte dans Paris
de police. . . . . 332

° 28

escrites en Suisse par le Dépar-
. . . . . 339

° 29

iations d'unités proposés par
ommission des notations de la
nal des Électriciens de Chicago. 340

# ERRATA ET ADDITIONS

T. I, p. 105, première ligne des notes, *au lieu de* « 21 », *lire* « 33 ».

T. I, p. 107, ligne 9 et titre de la figure 72, *au lieu de* « Reynolds », *lire* « Renold

T. I, p. 127, dernière ligne, *au lieu de* « appellera », *lire* « appeler ».

T. I, p. 139, en bas. Les chiffres inscrits au tableau sont erronés ; les remplac par la formule qui les précède.

T. I, p. 164, ligne 11, *ajouter :* « Ces chiffres s'appliquent aux moteurs ouvert ils doivent être réduits de moitié pour les moteurs fermés ».

T. I, p. 202, ligne 2, *au lieu de* « 50 kg. » *lire* « 250 kg. ».

T. I, p. 232, ligne 4, *au lieu de* « 100 », *lire* « 1000 ».

T. I, p. 332, ligne 7, *au lieu de* « pas », *lire* « guère encore ».

T. I, p. 363, lignes 1, 2 et 3, *interverlir les mots* « tantôt sur le même bogie » « tantôt sur les deux bogies ».

T. I, p. 376, titre de la figure 332, *au lieu de* « sur » *lire* « sous ».

T. I, p. 413, ligne 24, *au lieu de* « Heilmann », *lire* « de Baltimore ».

T. I, p. 452, au bas, *ajouter :* « Une locomotive de ce genre fonctionne depu plusieurs mois à Hoboken (États-Unis). La Compagnie des chemins de f d'Orléans vient d'en commander huit du même type, très peu modifié, destinées assurer, à partir de 1900, la traction de ses trains de voyageurs (100 à 300 tonne sur le prolongement de son réseau dans Paris, entre la place Valhubert et le qu d'Orsay. Elles porteront chacune quatre moteurs à simple réduction de 125 chevau et leur poids sera élevé à 45 tonnes par une surcharge destinée à leur donn l'adhérence suffisante. »

T. II, p. 42, titre de la figure 487, *au lieu de* « deux », *lire* « quatre ».

T. II, p. 157, ligne 13, *au lieu de* « n'ont pas encore été employés dans traction », *lire* « n'ont pas encore été employés dans la traction des tramwa (bien qu'ils trouvent déjà de nombreuses applications dans les voitures électriqu sur routes) ».

Digitized by Google

Digitized by Google

LA

# TRACTION ÉLECTRIQUE

## CHAPITRE PREMIER

### HISTORIQUE

**Les précurseurs.** — L'idée d'appliquer l'énergie électrique à la traction des véhicules n'est pas nouvelle, et des essais de traction par électromoteurs ont été tentés bien avant l'apparition de la dynamo moderne et la découverte du principe de sa réversibilité.

La première voiture électrique paraît due à un simple forgeron américain, *Thomas Davenport*. Bien que livré à ses seules ressources, celui-ci réussit à construire en 1834 une machine magnéto-électrique rudimentaire et à l'employer à la propulsion d'une voiture portant une batterie de piles. Cette voiture fut exposée en 1835 à Springfield (Massachusetts), puis à Boston où elle fonctionna pendant quelque temps sur un petit chemin de fer circulaire.

Vers 1838, au moment où l'attention du monde scientifique était appelée sur les applications possibles des électromoteurs par les célèbres essais de navigation électrique de *Jacobi* sur la Néva, un Écossais, *Robert Davidson*, construisit une véritable locomotive électrique, mue par un moteur analogue à celui du savant allemand et pesant 5 tonnes avec sa batterie de piles ; cette locomotive fit avec succès plusieurs trajets sur le chemin de fer d'Edimbourg à Glasgow, à la vitesse de 6 km. à l'heure. Mais elle fut mise en pièces par des ouvriers rivaux et plus de dix années s'écoulèrent avant que des expériences fussent reprises sur une aussi grande échelle.

En 1850, le professeur *C. G. Page*, du Smithsonian Institute,



Digitized by Google

apôtre convaincu de la traction électrique, fit exécuter à l'aide d'une subvention de 150 000 fr. votée par le Congrès des États-Unis une locomotive fort différente de celle de Davidson, actionnée par le moteur à mouvement alternatif qui porte son nom : deux solénoïdes placés vis-à-vis l'un de l'autre attiraient alternativement une armature de fer doux, qui attaquait un volant par l'intermédiaire d'une bielle et d'une manivelle. Cette locomotive, portant 100 éléments Grove, fut essayée le 29 avril 1851 sur le chemin de fer de Washington à Bladensburg ; elle atteignit une vitesse de 30 km. à l'heure. Mais la rupture des vases de piles par les trépidations interrompirent les essais.

Nous signalerons encore deux tentatives faites vers la même époque par deux autres américains, le professeur *Moses G. Farmer* et *Thomas Hall*, de Boston. Le premier construisit et exposa en public une petite locomotive électromagnétique qui remorquait sur une voie de 0,45 m. de largeur une voiture à deux places. Quant à la locomotive de Hall, mue par une magnéto du genre Clarke, elle était tout à fait minuscule : elle circulait sur une voie de 0,12 m. d'écartement ; la puissance du moteur était transmise à l'essieu par une vis sans fin. Le trait intéressant de l'invention est que la locomotive ne portait pas ses piles génératrices avec elle ; la batterie était fixe et le courant transmis au moteur par les rails.

Cette même idée se trouve déjà indiquée dans des brevets antérieurs, notamment ceux de *Henry Pinkus* (1840) et de *Lilley* et *Colton*, de Pittsburg (1847).

L'Anglais *Swear*[1] et le major piémontais *Bessolo*[2] prévoient, dans leurs brevets de 1855, la possibilité d'amener le courant par un conducteur isolé du sol, soutenu d'une manière analogue aux fils télégraphiques et qui pourrait être suspendu aux mêmes poteaux.

Enfin, en 1864, le Français *Cazal* fait breveter un moteur électrique directement appliqué à l'essieu d'un véhicule.

Ces premiers essais ne pouvaient aboutir à aucun résultat pratique, faute d'une source d'électricité assez puissante. Industriellement, le moteur électrique ne peut subsister sans la dynamo, et

[1] Brevet anglais de 1855.
[2] Brevet français numéro 22114, 19 janvier 1855, et deux additions.

Digitized by Google

ce n'est qu'après l'apparition de celle-ci et la découverte de sa réversibilité que la traction électrique a pu entrer dans la phase de la réalisation pratique.

**Les inventeurs européens** (**1879-1883**). — La machine à courant continu de Pacinotti avec induit à anneau, d'où dérivent toutes les machines électriques modernes, date, comme on le sait, de

Fig. 1. — Chemin de fer électrique de l'Exposition de Berlin.

1864. Toutefois, les dynamos véritablement industrielles ne sont apparues que quelques années plus tard, avec Gramme et Siemens. Enfin le principe de la réversibilité des dynamos et de la transmission électrique de l'énergie à distance au moyen de deux machines semblables, déjà découvert et clairement exposé par Pacinotti en 1867, fut démontré industriellement par M. H. Fontaine à l'Exposition de Vienne, en 1873.

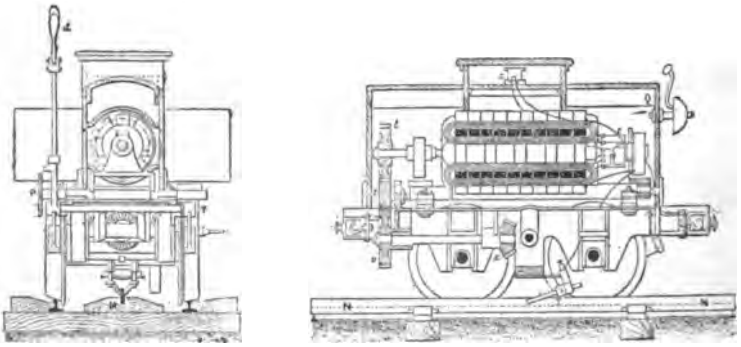
Dès lors commence, dans l'histoire des moteurs électriques et particulièrement dans celle de la traction électrique, une ère nouvelle, que Werner von Siemens avait pressentie dès 1867.

En 1879 se placent deux faits mémorables : d'abord les célèbres

Digitized by Google

expériences de labourage électrique exécutées au village de Sermaize par MM. *Félix* et *Chrétien* et qui constituent le premier pas sérieux fait dans la voie de la transmission de l'énergie électrique à des moteurs en mouvement; ensuite la mise en service du premier chemin de fer électrique qui ait fonctionné d'une manière réellement pratique, celui de MM. *Siemens* et *Halske* à l'Exposition industrielle de Berlin (fig. 1).

La petite locomotive qui servit à cette occasion[1] (fig. 2) prenait le courant sur un rail spécial N placé dans l'axe de la voie, à l'aide de balais en fil de cuivre. Elle portait une dynamo du type



Coupe transversale. Coupe longitudinale.

Fig. 2. — Locomotive électrique Siemens et Halske.

Siemens ordinaire, dont l'arbre, placé longitudinalement, transmettait son mouvement aux roues par une série d'engrenages *l*, *t*, *v* et *x*. Les rails de roulement servaient au retour du courant. Cette locomotive remorquait trois petits wagons contenant une vingtaine de personnes à la vitesse de 12 km. à l'heure.

Le succès de cette expérience stimulant le zèle des inventeurs, on voit à partir de ce moment les essais de traction électrique se multiplier dans tous les pays.

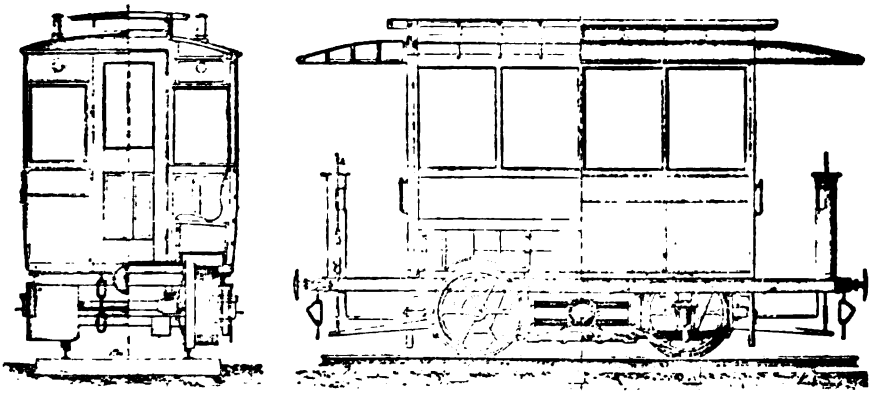
A Vienne, l'année d'après, *Egger* exposait un modèle de chemin de fer électrique dont le circuit était formé par les rails. A Paris, des études étaient poursuivies par MM. *Ch. Bontemps* et *Marcel Deprez*, dans le but de substituer aux tubes pneumatiques

[1] Cette locomotive avait été utilisée, dans le principe, au transport des charbons dans les mines de Coitbus.

Digitized by Google

pour le transport des dépêches de petites voies ferrées sur lesquelles auraient circulé des locomotives minuscules. Peu de temps après, Siemens, tout en étudiant le même problème, présentait à la municipalité de Berlin un projet de métropolitain aérien électrique, dans lequel il utilisait les rails comme conducteurs ; la transmission de la puissance de l'arbre du moteur à l'essieu s'effectuait par courroies.

Mais la première installation permanente et présentant un caractère véritablement commercial date du mois de mai 1881, époque à laquelle la maison Siemens et Halske mit en service la



Coupe transversale. Demi-coupe longitudinale. Demi-élévation.

Fig. 3. — Voiture électrique de Lichterfelde.

ligne de Gross-Lichterfelde, près Berlin. Cette ligne, à voie de 1 m., avait 2,450 km. de longueur. La transmission du courant se faisait par les rails mêmes de la voie, posés sur traverses à la manière ordinaire et reliés entre eux par des boucles en cuivre ; le niveau supérieur des rails se trouvait à 0,20 m. environ au-dessus de la surface de la chaussée, en sorte que la voie ferrée, bien qu'établie sur route, n'était pas accessible aux véhicules ordinaires. La voiture automobile (fig. 3) pouvait contenir 26 personnes ; le moteur, placé sous la caisse, actionnait les deux essieux en même temps par l'intermédiaire de câbles sans fin en acier. La vitesse normale n'était que de 20 km. à l'heure ; mais la voiture a pu faire jusqu'à 40 km. en palier, avec son chargement complet de voyageurs (soit un poids total de 4 800 kg.) ; dans ces

Digitized by Google

conditions, la machine, du poids de 500 kg., développait un travail de 5,5 chev. La force électromotrice variait de 90 à 100 volts.

Cette ligne est toujours en service, mais en 1893 on a renoncé à la distribution par les rails pour adopter des conducteurs aériens.

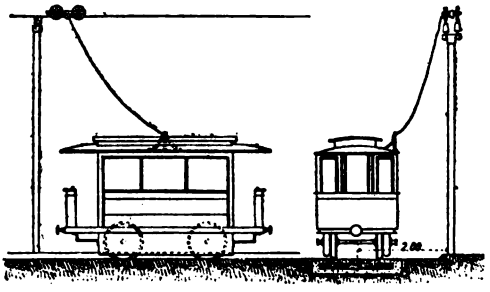


Fig. 4. — Premier mode de distribution aérienne projeté par MM. Siemens et Halske.

La figure 4 indique la disposition primitivement projetée par MM. Siemens et Halske pour les cas où les rails n'auraient pu, comme à Lichterfelde, servir de conducteurs pour l'aller et le retour du courant. Cette disposition consistait en un chariot roulant sur des conducteurs aériens soutenus de place en place par des poteaux.

Deux mois après la mise en service de la ligne de Lichterfelde,

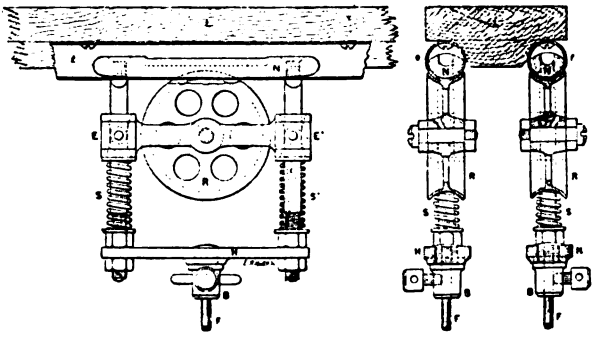


Fig. 5. — Tramway électrique de l'Exposition d'électricité de Paris. Conducteurs et contacts mobiles.

les mêmes constructeurs installaient à Paris, à l'Exposition internationale d'électricité, un petit tramway électrique de 500 m. environ de longueur, qui constitue la première application de la distribution aérienne.

Les conducteurs (fig. 5), au nombre de deux, l'un pour l'aller, l'autre pour le retour du courant, consistaient en tubes de laiton *t* fendus longitudinalement à leur partie inférieure ; deux chariots

Digitized by Google

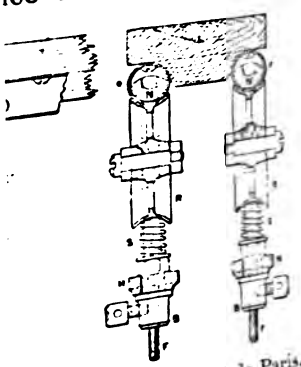
500 kg., développait un travail
:e variait de 90 à 100 volts.
ce, mais en 1893 on a renoncé
à la distribution par les
rails pour adopter des
conducteurs aériens.

La figure 4 indique
la disposition primitivement projetée par
MM. Siemens et Halske
pour les cas où les rails
n'auraient pu, comme
à Lichterfelde, servir
de conducteurs pour

·ienne

te disposition consistait en un
; aériens soutenus de place en

ice de la ligne de Lichterfelde.



xposition d'électricité de Paris.
acts mobiles.

t à Paris, à l'Exposition inter-
ımway électrique de 500 m.
, la première application de la

bre de deux, l'un pour l'aller.
ɔnsistaient en tubes de laiton
rtie inférieure ; deux chariots



de contact, comportant chacun une navette N glissant à l'intér
du tube et un galet R pressé contre lui par des ressorts S,S', éta
remorqués par la voiture à l'aide de conducteurs flexibles F,F.
véhicule employé, différent de celui de Lichterfelde, était
voiture de 50 places à impériale, pesant 5 500 kg. à vide ;
moteur était placé entre les roues, auxquelles il transmettai
mouvement à l'aide d'une chaîne de Galle.

La maison Siemens construisait en même temps près de Mé
(Tyrol) un chemin de fer d'essai destiné à préparer la solution

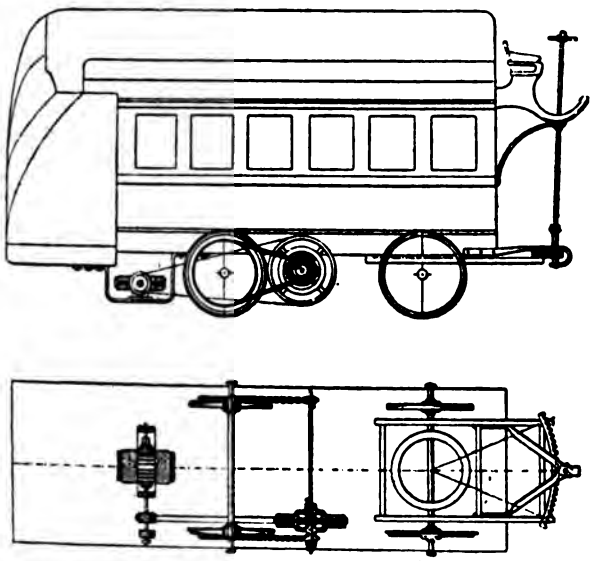


Fig. 6. – Elévation et plan de la voiture d'essai à accumulateurs de M. Raffarc

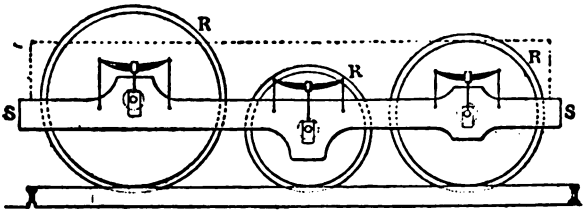
problème de la traction des trains par l'électricité dans le tun
du Saint-Gothard.

La découverte qui venait d'être faite des accumulateurs, c'es
dire d'un mode de transmission indirect de l'énergie électriq
supprimant la nécessité d'un circuit continu, ne pouvait manq
d'être utilisée pour la traction.

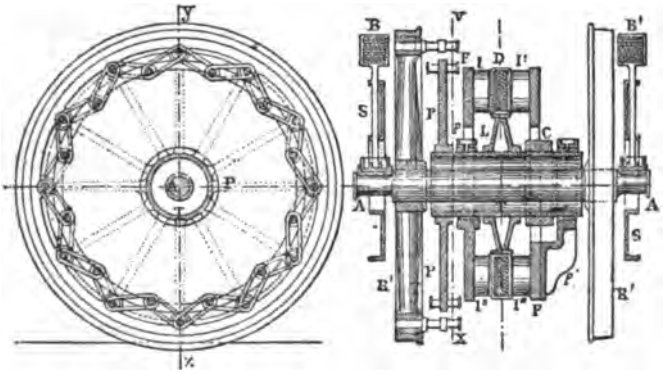
Aussi voit-on, dès 1880, une locomotive à accumulateurs fo
tionner à l'usine de blanchiment de M. Duchesne-Fournet, à Bre
en-Auge (Calvados). En mai 1881, une voiture électrique équi
par M. *Raffard* avec 225 accumulateurs Faure est essayée

Digitized by Google

la ligne de tramway de Vincennes[1]. C'était une voiture ordinaire à 50 places de la Compagnie générale des Omnibus, à l'arrière de laquelle on avait installé une dynamo (fig. 6); un arbre intermédiaire, commandé par courroie, transmettait le mouvement aux deux roues motrices par l'intermédiaire de pignons et




Suspension du châssis.




Coupe suivant VX. Coupe suivant YZ

Fig. 7. — Locomotive électrique à grande vitesse. — Projet Raffard.

F,F, flasques d'une dynamo multipolaire, reliées invariablement au châssis S de la locomotive. Ces flasques sont solidaires des paliers *p,p'* dans lesquels tourne le tube T et des noyaux des électro-aimants inducteurs, dont quatre seulement, I,I',I'' et I''', sont visibles sur la figure. Le tube T porte le plateau d'accouplement P et la lanterne Z, sur laquelle sont montés l'anneau induit D, ainsi que le collecteur C, auquel des frotteurs amènent le courant électrique fourni par des accumulateurs ou recueilli sur un conducteur aérien. Le retour s'opère par les rails.

Les roues motrices R, R' sont calées sur l'essieu A, situé à l'intérieur du tube T. Cet essieu porte le châssis S par l'intermédiaire des ressorts B, B'.

de chaînes de Galle. L'avant-train restait mobile autour de sa cheville ouvrière; seulement, il était dirigé au moyen d'une crémaillère engrenant avec un pignon que manœuvrait le cocher. Les accumulateurs, petits éléments cylindriques de 8 kg., placés 4 par 4 dans des boîtes munies de poignées, étaient logés sous les banquettes. La batterie débitait 40 ampères sous 120 volts; la dynamo, tournant à 1 200 tours, donnait au frein 365 kgm. par seconde.

[1] Voir le *Génie Civil* du 16 novembre 1895.

Digitized by Google

A partir de ce moment, la traction par accumulateurs se développe parallèlement à la traction par transmission directe, mais les applications de la première restent relativement beaucoup plus restreintes que celles de la seconde, qui réalise à elle seule tous les progrès de la traction électrique : chaque amélioration apportée aux méthodes de transmission de l'énergie électrique se traduit par un perfectionnement corrélatif du nouveau mode de traction.

Vers le milieu de 1883, enhardi par le succès de sa voiture à accumulateurs, M. Raffard imagina une locomotive électrique à grande vitesse, conception prématurée, presque irréalisable alors, mais qui devait bientôt cesser de l'être. Dans ce projet, représenté par la figure 7, il y a plusieurs essieux moteurs, dont les roues ont des diamètres différents, ce qui permet, selon les difficultés du parcours, de mettre en circuit celle des dynamos dont l'allure correspond au maximum de rendement. L'induit de chacune de ces dynamos, ainsi que le collecteur, sont calés sur un tube d'acier tournant dans des paliers solidaires du châssis de la locomotive. Les essieux moteurs passent dans ces tubes et sont actionnés directement par un accouplement élastique. Les ressorts qui supportent le châssis sont réglés de manière que l'axe des tubes coïncide avec la position moyenne des essieux; le jeu annulaire entre les tubes et les essieux est alors suffisant pour permettre les déplacements verticaux que ces essieux prennent par suite des imperfections de la voie ferrée [1].

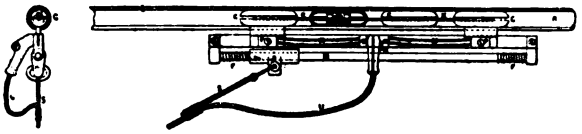
Au chemin de fer de Lichterfelde vinrent successivement s'ajouter un certain nombre d'autres lignes électriques. Celle de Portrush, en Irlande, construite par la maison Siemens, de Londres, a été terminée à la fin de 1883. Cette ligne, de 10 km. de longueur, est à force motrice hydraulique ; un conducteur latéral placé au niveau de la voie ferrée sert à l'arrivée du courant, dont le retour s'effectue par les rails; la transmission sur les voitures se fait par chaîne de Vaucanson. Sur la ligne de Brighton, installée également en 1883 par M. *Magnus Volk*, le circuit est

[1] Le brevet français de cette invention porte le numéro 157 466 et la date du 10 septembre 1883; le brevet américain, numéro 527 126, appartient à la General Electric Co, qui en a fait notamment l'application dans sa locomotive électrique de Baltimore.

Digitized by Google

formé par les rails de roulement et la puissance motrice fournie par un moteur à gaz; la force électromotrice est de 160 volts; la transmission s'effectue au moyen de courroies et d'un arbre de renvoi.

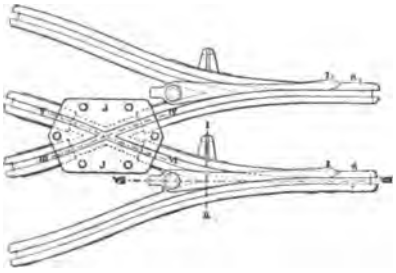
Durant cette même année, la maison Siemens et Halske, de



Vues de face et de côté.

Fig. 8. — Chemin de fer électrique de Mödling. — Frotteur.

Berlin, mettait en service la ligne de Mödling, près Vienne. En 1884, elle ouvrait au public la ligne Frankfurt a. M.-Offenbach. Ces deux lignes sont à conducteurs aériens de même type et présentent un isolement assez bon pour qu'on ait pu employer un potentiel de 500 volts. Les conducteurs sont des tubes métalliques fendus,

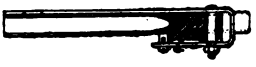


9. — Vue par-dessous.

10. — Coupe III-IV.

11. — Coupe V-VI.

13. — Coupe I-II.



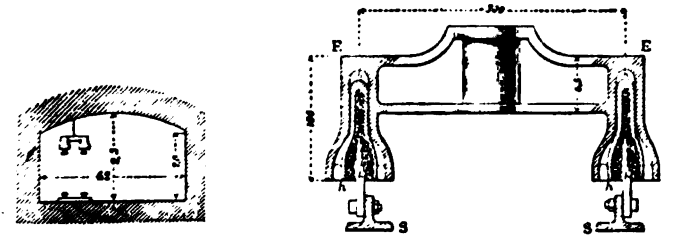
12. — Coupe VII-VIII.

Fig. 9, 10, 11, 12 et 13. — Chemin de fer électrique de Mödling. — Aiguillage.

dans l'intérieur desquels circule une navette de prise de courant. Ces tubes sont portés au moyen d'isolateurs par des poteaux espacés de 15 à 30 m., et soutenus en outre par des câbles en cuivre et acier reposant sur les mêmes poteaux par l'intermédiaire d'autres isolateurs. Le frotteur est constitué (fig. 8) par 4 pièces de contact C, réunies entre elles par des câbles métalliques sou-

Digitized by Google

ples K; pour assurer un contact parfait entre les pièces C et le tube R, chacune de ces pièces se compose de deux moitiés séparées par un ressort à boudin. La principale difficulté du système réside dans les changements de voie. La figure 9 représente, vue par-dessous, la disposition adoptée en ces points : les tubes sont coupés et assemblés avec un bloc de bois dur J; des pièces métalliques *v* et *u*, situées dans des plans horizontaux différents, assurent le passage du courant du tronçon III au tronçon IV d'une part, et du tronçon V au tronçon VI de l'autre; ces pièces sont vissées sur les tubes et isolées l'une de l'autre par la masse du bois, comme on le voit sur les figures 10 et 11, qui montrent des




14. — Coupe de la galerie. 15. — Coupe des isolateurs.

Fig. 14 et 15. — Chemin de fer électrique des mines de Hohenzollern. Suspension des conducteurs.

coupes faites suivant l'axe des conducteurs; la longueur de la navette est telle qu'une des extrémités pénètre dans le tube III avant que l'extrémité opposée n'ait quitté le tube IV. Les aiguilles sont formées par deux tiges métalliques $Z, Z_1$, mobiles autour d'un pivot vertical (fig. 12), qui sont ramenées ou maintenues dans leur position normale par un ressort antagoniste *f* (fig. 13). Le système fonctionne assez bien, mais on voit qu'il est loin d'être simple. De plus, les tubes donnent un aspect fort disgracieux à la ligne aérienne, et la rendent coûteuse d'établissement et d'entretien. La transmission sur les voitures se fait par un double train d'engrenages, formé d'un pignon, d'une roue montée sur un contre-arbre et de la roue calée sur l'essieu moteur.

Citons aussi trois chemins de fer miniers installés par la même maison, ceux de Zauckerode (Saxe) (1883), de Neu-Stassfurt (1883) et de Hohenzollern, près Beuthen (Haute-Silésie) (1884). Ici les

Digitized by Google

conducteurs sont formés de barres à T renversées, suspendues au ciel de la galerie par des isolateurs à cloche (fig. 14 et 15) et sur lesquelles glisse le collecteur ; ce dernier est constitué par deux étriers en fer forgé AB, $A_1B_1$, entre lesquels se placent deux pièces de bronze *p*,*p* qui viennent frotter contre le rail conducteur par l'intermédiaire de cales en acier *n*,*n* (fig. 16) ; pour augmenter la surface de contact, on a disposé en outre de chaque côté de la glissière trois lames de ressort *f*, terminées par des surfaces sphériques *r*. La transmission du mouvement aux roues

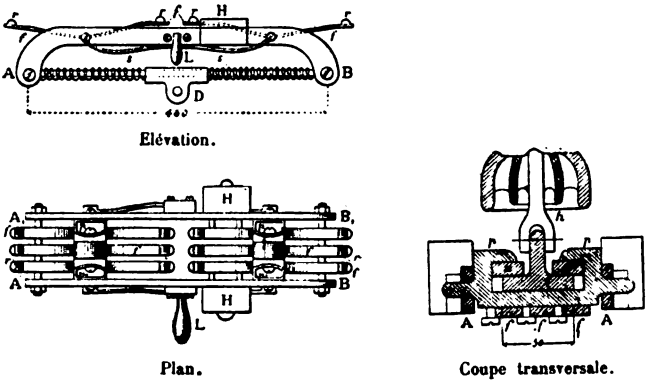



Fig. 16. — Chemin de fer électrique des mines de Hohenzollern. — Plan, élévation et coupe transversale du collecteur.

de la locomotive se fait par deux paires de roues d'angle, un pignon et deux roues dentées.

Pendant les deux ou trois années qui suivent, il se crée encore en Angleterre et sur le continent quelques lignes nouvelles, telles que celles de Bessbrook-Newry (1885) et de Ryde (1886), à conducteurs de niveau avec la voie ferrée[1], celle de Blackpool (1886), à conducteur souterrain placé dans une conduite à rainure, celle de Vevey-Montreux (1888), à conducteurs tubulaires aériens.

Mais la traction électrique, après avoir progressé rapidement

[1] Sur la ligne de Bessbrook-Newry, le conducteur est formé par un fer en ⊔ placé dans l'axe de la voie et reposant sur des blocs isolants en bois, fixés eux-mêmes sur les traverses ; le retour s'effectue par les rails. Au croisement d'une route importante, ce conducteur est remplacé par un fil de cuivre suspendu au-dessus de la voie à des potences ; M. E. Hopkinson, le constructeur de la ligne, a appliqué pour la première fois à cette occasion un dispositif de prise de courant à frotteur imaginé par son frère, le docteur John Hopkinson, et constitué par une barre transversale plate montée sur le toit de la voiture.

Digitized by Google

au début, semblait parvenue en Europe à un état stationnaire. A ce moment, la scène de l'activité change. Les ingénieurs américains, absorbés jusque-là par des contestations sur la priorité des brevets qui les avaient empêchés de produire aucun résultat bien appréciable, commencent à regagner le temps perdu et à appliquer leur esprit pratique à la mise en valeur du procédé nouveau.

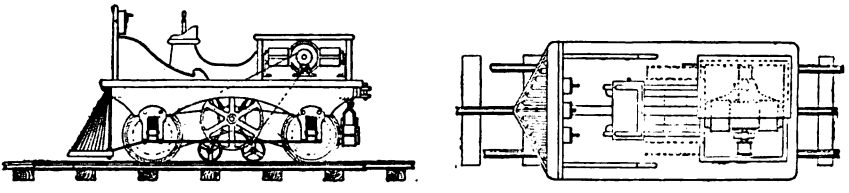
**Les inventeurs américains (1883-1888).** — On peut dire que jusqu'au milieu de 1880, c'est-à-dire plus d'un an après la mise en service du chemin de fer électrique de l'Exposition de Berlin, rien n'avait été accompli aux Etats-Unis qui vaille la peine d'être noté en fait de traction électrique[1]. A cette date, *T. A. Edison* entreprenait à son laboratoire de Menlo Park, quelques expériences de traction au moyen de machines dynamo-électriques et s'occupait aussitôt de faire patenter son système. Sa demande de brevet avait toutefois été précédée d'une demande analogue faite par *Stephen D. Field* et dont l'U. S. Patent Office a ultérieurement reconnu la priorité. Après de longues contestations, un arrangement intervint entre les deux inventeurs et, en 1883, l'« Electric Railway Company » exposait sous leurs noms à Chicago, puis à Louisville, une locomotive électrique remorquant une voiture de 16 places sur une petite voie de 0,90 m. d'écartement. Le circuit d'aller était formé par un rail central et celui de retour par les rails de roulement; il est intéressant de noter que pour augmenter la conductivité de ces derniers on leur avait adjoint un conducteur en cuivre. La puissance était transmise à l'essieu moteur par des courroies passant sur des poulies folles sur l'essieu et pouvant être embrayées ou désembrayées à volonté au moyen de cônes de friction. Le moteur était pourvu d'un régulateur de vitesse constitué par un rhéostat et d'un mécanisme de renversement de marche.

[1] Un ouvrier américain, *George F. Green*, dont les travaux ne furent pas connus en Europe, construisit en 1875 un petit modèle de chemin de fer électrique, analogue à celui de Farmer, avec transmission du courant par les rails de la voie. Il se proposait également, comme le montrent ses plans, d'employer un fil aérien pour former l'un des côtés du circuit; mais il ne mit pas cette dernière idée à exécution. Vers 1878 ou 1879, il construisit un autre modèle, avec une voiture assez grande pour contenir deux personnes. Mais, par suite de difficultés de procédure comme on n'en voit qu'aux États-Unis, son brevet, qui embrasse les principes essentiels de la traction électrique, ne put lui être délivré qu'en décembre 1891.

Digitized by Google

Au printemps de 1883, un Belge établi aux Etats-Unis, *C. J. van Depoele*, commence également à s'occuper de traction électrique : il fait circuler sur une petite ligne d'essai à conducteurs aériens une voiture actionnée par un moteur de trois chevaux; quelques mois plus tard, il installe à l'Exposition de Chicago une autre ligne aérienne, puis dans les rues de Toronto (Canada) une ligne à conduite souterraine, sur laquelle il a pu employer la tension exceptionnellement élevée de 2 500 volts sans qu'il en soit résulté aucun accident, bien que le retour se fît par les rails.

L'année 1883 vit encore d'intéressantes expériences effectuées par M. *Leo Daft* sur le « Saratoga and Mount McGregor Rail-



Elévation. Plan.

Fig. 17. — Locomotive électrique du Saratoga and Mount McGregor Railroad.

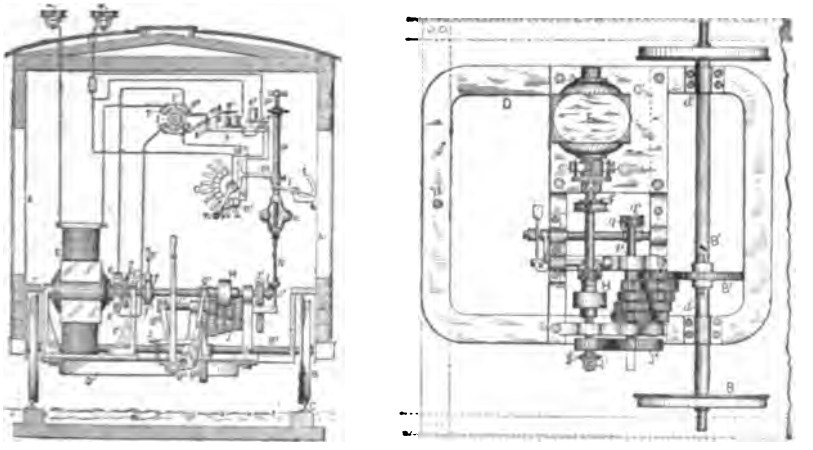
road », avec une locomotive électrique dont la figure 17 donne une idée. Le moteur était d'environ 12 chev. et remorquait une voiture de 10 t. contenant 68 voyageurs, à la vitesse de 13 km. à l'heure, sur une rampe de 17,5 mm. Un rail central, posé sur des blocs de bois dur imprégnés de résine, servait de conducteur; la prise de courant s'effectuait à l'aide de galets en bronze phosphoreux pressés légèrement contre ce rail par des ressorts. La vitesse se réglait par commutation des bobines du champ magnétique. La machine était en outre munie d'un frein électrique, consistant en électro-aimants suspendus à une charnière supérieure et qui étaient attirés par les roues lorsqu'on y faisait passer le courant.

C'est seulement en 1884 qu'apparaît aux Etats-Unis le premier tramway électrique proprement dit, celui de Cleveland, installé par MM. *Bentley* et *Knight*. Ce tramway, qui s'étendait sur 3 km. environ de longueur, était à conducteurs souterrains posés dans une conduite au milieu de la voie; le canal renfermant les conducteurs était en bois, avec une fente longitudinale permettant le

Digitized by Google

passage du collecteur. Le moteur était placé entre les roues du véhicule et supporté par le plancher; la transmission de mouvement s'effectuait par des câbles métalliques sans fin. La ligne fut abandonnée après une dizaine de mois d'exploitation.

A la fin de l'année 1884, M. *J.-C. Henry* installait dans les faubourgs de Kansas City une voie d'essai à conducteurs aériens qui réalisait un progrès marqué sur les tentatives précédentes. La ligne était constituée par deux fils de cuivre nu, suspendus par



Coupe transversale. Plan.

Fig. 18. — Voiture électrique de Kansas City.

leur partie supérieure comme les fils de contact actuels. La voiture (fig. 18) portait un moteur van Depoele de 5 chev., dont la puissance était transmise à l'essieu par l'intermédiaire d'engrenages différentiels analogues à ceux des tours; il y avait cinq degrés différents de vitesse. Le moteur et sa transmission étaient contenus dans une sorte de cadre dont une extrémité était supportée par l'essieu et l'autre par le plancher de la voiture. Un embrayage permettait de laisser le moteur tourner constamment.

L'inventeur expérimenta tour à tour divers systèmes de distribution et de prise de courant. Pour assurer la communication électrique entre les rails, il enfonçait des clous à ferrer entre les éclisses et les rails. Dans certaines de ses expériences, l'un des conducteurs jouait simplement le rôle d'artère d'alimentation et

Digitized by Google

la voie celui de circuit de retour ; dans d'autres, les fils aériens servaient chacun pour une voie séparée, les rails étant encore utilisés comme retour. Après avoir essayé différents types de « trôlets [1] », les uns roulant sur les fils, les autres supportés par une perche fixée sur le toit de la voiture, il s'arrêta à un modèle formé de deux galets de contact horizontaux qui pressaient contre les faces latérales du fil et qui étaient reliés à la voiture par un câble flexible.

La génératrice employée était une dynamo à arc excitée en série.

La ligne comportait une rampe de 70 mm., que la voiture franchissait sans difficulté.

La petite ligne de Kansas City est intéressante parce qu'elle se rapproche, plus qu'aucune de celles qui l'avaient précédée, des installations modernes de tramways électriques. Néanmoins il ne sortit pas de ces expériences de résultat pratique immédiat : le nouveau mode de traction ne possédait pas encore la confiance du public.

Les essais continuèrent durant toute l'année 1885. Dans la première moitié de cette année, M. Daft équipa électriquement une portion des voies de la « Baltimore Union Passenger Railway Company ». La ligne choisie était celle de Baltimore à Hampden, qui présente un profil en long très accidenté (déclivité maxima 70 mm.) et de nombreuses courbes (rayon minimum 12 m.). Le courant était conduit par un rail central posé sur des isolateurs spéciaux ; les pertes de la ligne étaient assez faibles, grâce au bas voltage employé (125 volts). Chaque locomotive portait un moteur de 8 chev., pesant 500 kg., dont la puissance était transmise à l'essieu par un seul train d'engrenages, avec réduction de vitesse de 9/1 ; le poids total était de 1 900 kg. environ. Le réglage de la vitesse s'effectuait, comme dans les premiers moteurs Daft, par commutation du champ magnétique.

[1] Les Américains ont baptisé du nom de « trolley » l'appareil qui, dans le système de traction électrique à fil aérien, sert à établir la communication entre le conducteur et le véhicule. Littéralement, le mot « trolley » (du verbe « troll », en français rouler, trôler) désigne un chariot monté sur roues ; on l'a appliqué tout naturellement aux premières formes d'appareil de prise de courant, qui consistaient en un petit chariot aérien roulant sur les fils ; puis, par extension, aux dispositifs plus récents à perche terminée par un galet pressant contre la partie inférieure du fil. Le verbe « trôler » existant dans notre langue, nous trouvons inutile d'y introduire un mot étranger dérivé d'un verbe équivalent, et nous traduisons « trolley » par « trôlet », comme l'a fort justement proposé déjà M. *G. Pellissier*.

Digitized by Google

Aux croisements de rues, le rail central était remplacé par un conducteur aérien (fig. 19); la voiture était à cet effet munie d'une perche portant à son extrémité supérieure un balai en métal qui pressait contre le fil de bas en haut comme dans les trôlets actuels.

La ligne fut ouverte à l'exploitation au mois d'août 1885 et les moteurs primitifs sont restés en service jusqu'à ces derniers temps.

A peu près à la même époque, van Depoele faisait fonctionner à Toronto un petit train de 3 voitures remorquées par une locomotive

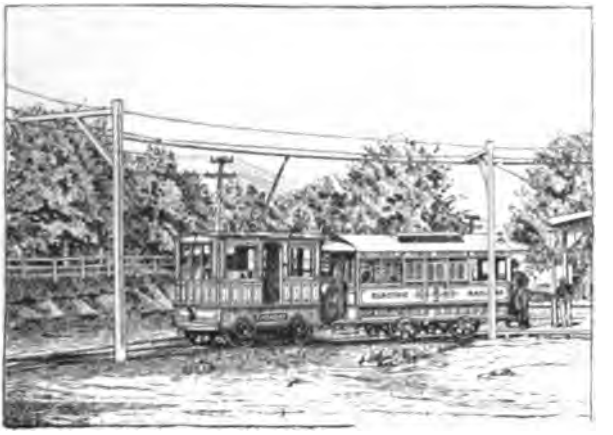


Fig. 19. — Partie à conducteur aérien du chemin de fer électrique de Baltimore à Hampden.

(fig. 20); le conducteur était un fil aérien suspendu à des potences et la prise de courant s'effectuait au moyen d'un trôlet à contact inférieur très analogue au précédent. Le courant était transmis sous la tension de 1 000 volts.

Signalons encore pendant l'année 1885 les essais de traction avec distribution du courant en série effectués à Denver par le Prof. *Sidney H. Short*, sur une ligne à conduite souterraine, les expériences de M. Daft sur le chemin de fer aérien de New York et le commencement des études de M. *Frank J. Sprague* sur la traction électrique.

Malgré l'activité déployée par les inventeurs, il n'y avait encore, à la fin de 1885, que 3 lignes électriques en exploitation en Amérique, s'étendant sur une longueur de 12 km. et parcourues par



Digitized by Google

13 voitures ; 5 lignes nouvelles seulement furent mises en service pendant l'année 1886 (45 kilomètres, 39 voitures) et 7 pendant l'année 1887 (47 kilomètres, 81 voitures).

Parmi ces lignes, quelques-unes étaient à conducteurs souterrains; mais la plupart comportaient une distribution aérienne, du système Daft ou van Depoele. Les constructeurs hésitaient encore entre l'emploi du double fil aérien et celui du fil unique avec retour par les rails; comme système de prise de courant, ils préféraient le trôlet supérieur au trôlet inférieur : sur 15 lignes en exploitation au 1er janvier 1888, deux ou trois seulement étaient à simple fil avec prise de contact par dessous ; la majorité était à double fil avec trôlet roulant sur les conducteurs et relié au véhicule par un câble souple (fig. 21).

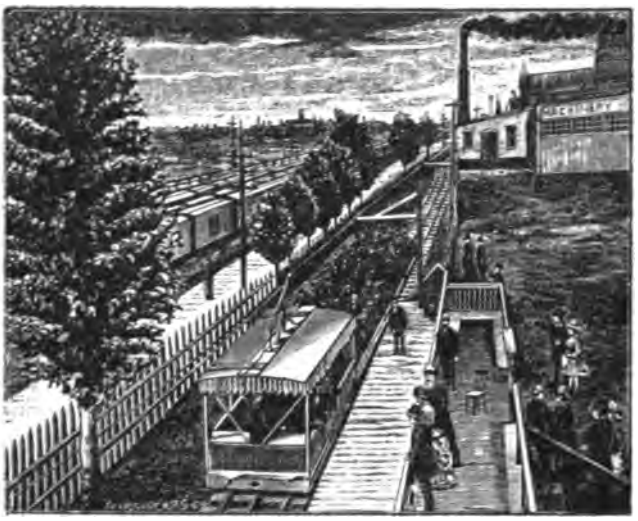


Fig. 20. — Chemin de fer électrique de l'Exposition de Toronto.

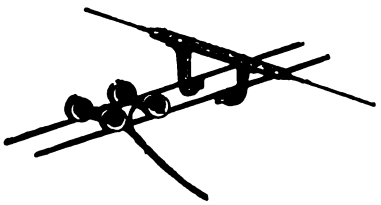


Fig. 21. — Trôlet à contact supérieur pour double fil.

Le plus souvent, ce trôlet était, comme celui que représente la figure, à quatre roues, montées sur des axes indépendants auxquels aboutissaient les conducteurs flexibles servant à l'arrivée et au

Digitized by Google

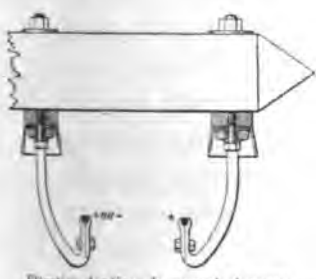
seulement furent mises en ser-
ilomètres, 39 voitures) et 7 pen-
s, 81 voitures).
nes étaient à conducteurs soute-

rique de l'Exposition de Toronto.

ient une distribution aérienne, ds
es constructeurs hésitaient encore
érien et celui du fil unique avec
retour par les rails; comme sys-
tème de prise de courant, ils pre-
féraient le trôlet supérieur au
trôlet inférieur : sur 15 lignes en
exploitation au 1er janvier 1888,
deux ou trois seulement étaient
à simple fil avec prise de contact
par dessous ; la majorité était à
r les conducteurs et relié au véhi-
21).
it, comme celui que représente la
sur des axes indépendants auxquels
flexibles servant à l'arrivée et au

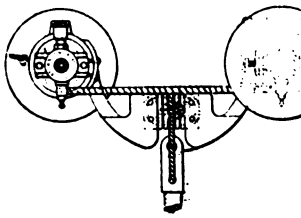


retour du courant. Dans un dispositif de ce genre, les deux ro
de droite doivent naturellement être bien isolées de celles
gauche et cet isolement doit être assez efficace pour résister
actions extérieures ; une protection spéciale est indispensabl
cet effet. Un pareil chariot est nécessairement assez lourd
cause du système d'isolement et des enveloppes; il exige d
un appareillage aérien très robuste, d'autant plus que le c
servant à la remorque du chariot exerce sur les fils une trac

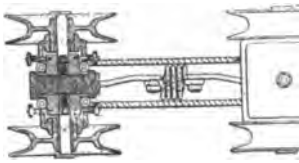


Elévation des tiges de support et coupe des isolateurs.

Plan d'un support.



Demi-élévation et demi-coupe vertic
du trôlet.



Demi-plan et demi-coupe horizont
du trôlet.

Fig. 22. — Tramway électrique de Los Angeles. — Suspension des conducte
et détails du trôlet.

qui est loin d'être négligeable. Mais ce qui est surtout gê
ce sont les croisements et changements de voie.

La figure 22 montre, par exemple, le système à double co
teur aérien employé par M. Daft sur la ligne de Los Angeles
fornie). Les supports sont des tiges de fer recourbées dont l'
mité inférieure se termine par une mâchoire embrassant le fil
sont vissées dans des boîtes en fonte portées par des potence
collecteur de courant est formé par un chariot à quatre ga
gorge en bronze, dont les axes sont fixés à des pièces de
isolées l'une de l'autre ; les deux paires de galets sont réuni
un ressort à boudin très raide, qui se prête cependant aux i
larités du conducteur. Le courant pénètre par les deux galet

Digitized by Google

côté du chariot, se rend, à travers des contacts frottant sur la joue intérieure du moyeu, à un gros conducteur isolé et de là à un câble logé dans un tube vertical articulé sur le chariot, qui l'amène à la voiture. Le problème des croisements et des aiguillages a été résolu de la façon suivante (fig. 23) : les deux potences voisines de l'aiguille sont reliées par des entretoises qui portent deux rails courts transversaux; sur ces rails se meut une petite glissière à laquelle sont fixées les extrémités des fils mobiles, qu'on peut ainsi placer en prolongement de l'une ou l'autre des deux lignes; la manœuvre se fait d'en bas au moyen de cordes et de poulies de renvoi.

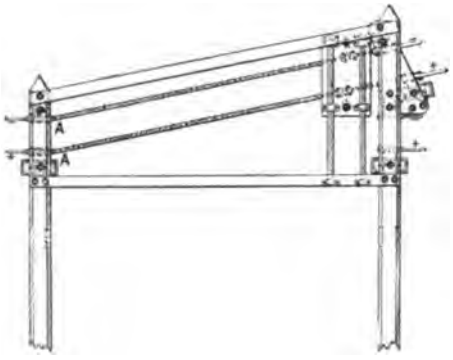



Fig. 23. — Tramway électrique de Los Angeles. Plan d'un aiguillage.

Pour obvier au manque de stabilité des trôlets à roulettes, on avait aussi imaginé des chariots dans lesquels les roues étaient remplacées par des contacts glissants; on avait proposé également d'agripper les côtés des conducteurs. Mais tous ces dispositifs étaient loin d'être exempts de défauts.

Lorsqu'on n'emploie qu'un seul fil aérien, le problème se simplifie, car on peut alors prendre un chariot équilibré. Des dispositifs de ce genre sont encore proposés aujourd'hui pour le touage électrique sur les canaux, notamment par M. *de Bovet*.

Toutefois, la prise de courant à la partie supérieure du fil entraîne, même dans ce dernier cas, de telles difficultés de construction et d'exploitation qu'on a fini par y renoncer pour adopter exclusivement le contact inférieur : le trôlet pressant à la partie inférieure du fil le soulage au lieu de le charger, ce qui permet d'avoir un appareillage aérien beaucoup plus léger et plus satisfaisant d'aspect; en outre, les aiguillages se trouvent considérablement simplifiés.

Ce dernier système a commencé par être employé avec le double fil; la figure 24 montre un des premiers types d'appareils de

Digitized by Google

prise de courant imaginés pour cet usage. Le trôlet simple n'est venu que plus tard. Mais dès son apparition, il a relégué au second plan tous les procédés antérieurs, et l'on peut dire que la vulgarisation et le succès industriel de la traction électrique datent véritablement de l'application du système à simple trôlet. Van Depoele et Sprague sont de ceux qui ont le plus contribué à le rendre pratique, en alimentant le fil de contact unique de distance en distance par un ou plusieurs conducteurs partant de l'usine centrale[1] et en donnant au trôlet sa forme actuelle, et ils doivent

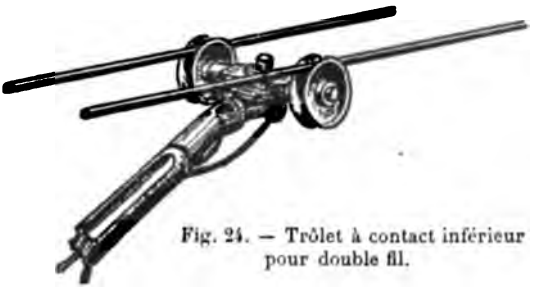


Fig. 24. — Trôlet à contact inférieur pour double fil.

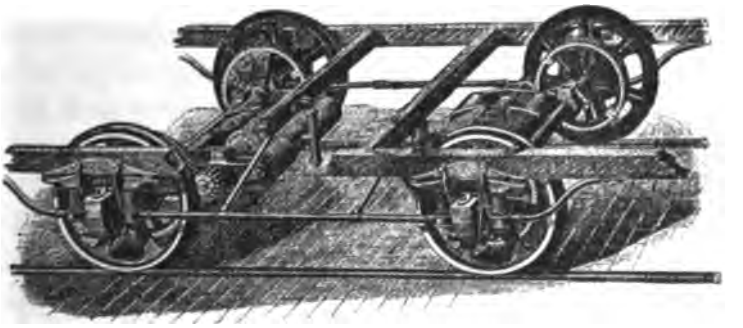


Fig. 25. — Truck électrique Sprague.

être considérés à ce titre comme les principaux initiateurs de la traction électrique moderne.

C'est à ce dernier ingénieur qu'on doit également le mode de suspension des moteurs qui consiste à faire reposer l'une des extrémités directement par deux paliers sur l'essieu, l'autre étant suspendue au truck par des ressorts qui laissent au moteur un certain jeu, tout en maintenant entre l'axe de l'armature et celui de l'essieu l'invariabilité d'écartement nécessaire pour le bon fonctionne-

[1] Ce procédé fut appliqué pour la première fois à Minneapolis.

Digitized by Google

ment des engrenages[1] (fig. 25). Au début, il effectuait la réduction de vitesse par un seul train d'engrenages ; puis l'usage s'introduisit d'employer un second train, avec arbre intermédiaire, qui ne disparut que vers 1891.

**Le grand « boom » américain.** — C'est en 1888 seulement que commence à proprement parler l'ère pratique de la traction électrique. Non qu'une invention nouvelle soit venue à ce moment changer la face des choses, mais les constructeurs, profitant de l'expérience acquise, avaient eu le temps de perfectionner les procédés et appareils primitifs : leurs idées étaient désormais mûres pour l'exécution.

Le 2 février 1888 avait lieu la mise en service de la ligne de Richmond (Virginie), équipée par la Compagnie Sprague. C'était le premier tramway électrique réellement important établi aux États-Unis. On ne peut d'ailleurs imaginer conditions plus défavorables à l'exploitation d'un tramway : la première fois qu'on entendit parler du projet, on le considéra comme d'une hardiesse voisine de la folie. Aussi sa réussite exerça-t-elle sur l'esprit du public américain une influence décisive pour le développement de la traction électrique aux États-Unis.

La longueur développée des voies du tramway de Richmond atteignait 19,2 km. La ligne comportait des rampes variant de 3 à 10 p. 100. Les courbes étaient très nombreuses; dans certaines d'entre elles, le rayon de courbure du rail intérieur atteignait à peine 8 à 9 m., et l'on trouvait dans ces courbes des rampes de 8 p. 100. Ensuite, les chaussées étaient très mal entretenues et, par les temps de pluie, certaines parties de la voie se trouvaient complètement sous l'eau. Les voitures, au nombre de 40, portaient chacune deux moteurs ; ceux-ci, qui avaient été construits pour développer normalement 7 chevaux, étaient couramment appelés à en fournir 10 et 12 ; placés sans protection aucune sous la caisse des voitures, ils étaient constamment couverts d'eau et de boue. Comme on le voit, les difficultés se trouvaient accumulées comme à plaisir. Malgré cela, malgré l'imperfection des appareils employés

[1] Ce mode de suspension, nouveau pour les moteurs électriques, avait déjà été employé en Europe pour des moteurs à gaz.

Digitized by Google

et le manque complet d'entretien, l'exploitation ne fut pas arrêtée un seul jour ; quelques-uns des véhicules ont parcouru plus de 12 000 kilomètres sans entrer une fois à l'atelier de réparations.

Le succès à la fois technique et financier de l'expérience désormais historique de Richmond donna au nouveau mode de traction la consécration qui lui manquait. Peu après, la plus importante compagnie de tramways des États-Unis, la « West End Street Railway Company » de Boston, après une série d'expériences comparatives portant sur les différents systèmes de traction mécanique, se décidait pour le trôlet et commençait l'équipement électrique de ses 300 kilomètres de lignes. En même temps, de grandes compagnies de construction, la Compagnie Thomson-Houston, puis la Compagnie Edison, la Compagnie Westinghouse, mettaient au service de la traction électrique leurs puissants moyens d'action.

On voit dès lors les tramways électriques se multiplier avec une rapidité qui tient du prodige et constitue un développement presque sans précédent dans l'histoire industrielle du XIX^e siècle.

Les chiffres suivants donnent une idée de cet essor extraordinaire, de ce « boom », pour employer l'expression américaine.

En 1888, il avait été construit 33 lignes électriques nouvelles, comprenant ensemble 210 km. et 265 voitures. Pendant l'année 1889, il s'en crée 104, avec un développement total de 1 032 km. et 965 voitures. Au 1^er janvier 1890, il existait aux États-Unis et au Canada un ensemble de 137 lignes électriques en exploitation ; leur longueur totale était de 1 242 km. et le nombre des voitures automotrices de 1 230.

Le 1^er janvier 1891, le nombre des lignes électriques était déjà passé à 240, dont 103 installées par la Compagnie Thomson-Houston, 83 par la Compagnie Edison-Sprague, et les autres par des constructeurs divers, van Depoele, Rae, Short, Westinghouse, etc. Cinq seulement de ces lignes se servaient d'accumulateurs. Dès le mois de juillet de la même année, le nombre des tramways électriques s'élevait à 350, leur longueur totale à 4 600 km. et le nombre des voitures à 4 513; en septembre, il y avait 4 800 km. de lignes électriques et 6 732 voitures en service. On n'évalue pas à moins de 27 000 le nombre de bêtes de trait, chevaux et mulets, retirés du

Digitized by Google

service des tramways pendant la seule année 1891, par suite de l'adoption de la traction électrique.

Au commencement de 1892, l'ensemble du réseau américain comprenait 6 534 km. de lignes, sur lesquelles circulaient 8 892 voitures. La Compagnie Thomson-Houston avait, à elle seule, 191 lignes en exploitation, avec près de 3 000 voitures.

Il nous faut noter, dans le cours de l'année 1892, un fait important au point de vue du développement de la traction électrique, la fusion de la Compagnie Edison avec la Compagnie Thomson-Houston pour former la « General Electric Company », une des plus puissantes organisations des États-Unis, puisqu'on estime sa puissance financière à 200 millions de dollars, soit un milliard de francs. Chacune des deux compagnies constituantes résultait déjà de la fusion d'un certain nombre d'autres moins puissantes : ainsi la Compagnie Thomson-Houston avait fini par absorber les Compagnies Brush, Schuyler, van Depoele, Bentley-Knight, etc.; la Compagnie Sprague s'était fondue avec la Compagnie Edison ; en sorte que la General Electric Co. s'est trouvée du coup en possession de la moitié au moins des brevets concernant les applications électriques délivrés aux États-Unis depuis une quinzaine d'années.

Depuis lors, le progrès s'est poursuivi d'une manière ininterrompue. On trouve :

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| au 1er janvier 1893. . . | 9 556 | km. de lignes | électriques, avec | 13 415 | voitures |
| au 1er — 1894. . . | 12 143 | — | — | 17 128 | — |
| au 1er — 1895. . . | 14 494 | — | — | 22 849 | — |
| au 1er — 1896. . . | 20 133 | — | — | 36 121 | — |
| et au 1er janvier 1897. . | 22 949 | — | — | 39 748 | — |

**La situation européenne.** — En face de cet immense développement, ce qui a été fait en Europe paraît relativement peu de chose.

Nous avons relaté les premiers essais de traction électrique effectués de ce côté de l'Atlantique.

A la fin de 1885, la longueur totale des chemins de fer et tramways électriques en exploitation en Europe s'élevait à 52.

La première ligne électrique qui ait fonctionné industriellement en France, celle de Clermont-Ferrand, construite par un homme d'initiative, M. *Claret*, avec le matériel de la Compagnie Suisse Thury, date seulement de 1890; encore avait-on adopté pour la

Digitized by Google

distribution du courant le système déjà démodé à cette époque du tube fendu avec navette glissante (fig. 26 et 26 *bis*).

Il faut bien reconnaître, du reste, que les progrès de la traction

Fig. 26. — Tramway électrique de Clermont-Ferrand.

électrique ont été en particulier chez nous remarquablement lents : la ligne de Marseille-Saint-Louis ne date que du commencement de 1892, celle de Bordeaux-Bouscat au Vigan, de 1893, les pre-

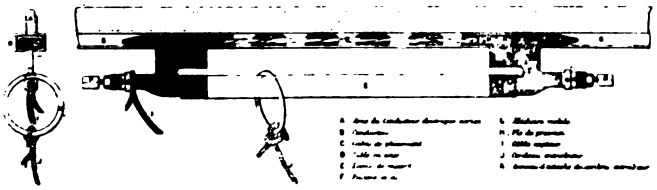


Fig. 26 *bis*. — Tramway électrique de Clermont-Ferrand.
Détails du conducteur aérien et de la navette.

mières lignes de Lyon et du Havre, de 1894. Ce n'est qu'à partir de 1895 qu'il commence réellement à se manifester quelque activité dans la construction des lignes électriques.

A la fin de 1890, l'Europe entière ne comptait encore que 71 km. de lignes et 140 voitures électriques.

Le 1er janvier 1894, la longueur des lignes exploitées s'élevait

Digitized by Google

305 km., dont l'Allemagne possédait à elle seule le tiers, l'Angleterre le quart et la France le huitième environ; le nombre des voitures automotrices ou locomotives était de 538. L'année suivante, la longueur des lignes était passée à 700 km. et le nombre des voitures à 1 236. Au 1er janvier 1896, il existait en Europe 111 chemins de fer ou tramways électriques, s'étendant sur une longueur de 902 km., et 1 747 voitures automotrices en service. Au 1er janvier 1897, on comptait 150 lignes, comportant ensemble 1 459 km. de longueur et 3 100 voitures. Enfin, au 1er janvier 1898, le nombre total des lignes exploitées s'élevait à 214, leur longueur à 2 259 km., la puissance des stations centrales correspondantes à 68 106 kilowatts et le nombre des voitures automotrices ou locomotives à 4 514.

Le tableau suivant, emprunté à *L'Industrie Électrique*, montre la répartition de ces lignes suivant les différents États :

LIGNES EN SERVICE AU 1er JANVIER 1898

| ÉTATS | LONGUEUR TOTALE des lignes en km. | PUISSANCE TOTALE en kw. | NOMBRE TOTAL de voitures automotrices |
|---|---|---|---|
| Allemagne | 1 138,2 | 25 868 | 2 493 |
| Angleterre | 134,4 | 6 197 | 220 |
| Autriche-Hongrie | 106,5 | 3 404 | 243 |
| Belgique | 69,0 | 2 415 | 107 |
| Bosnie | 5,6 | 75 | 6 |
| Espagne | 61,0 | 930 | 50 |
| France | 396,8 | 15 158 | 664 |
| Hollande | 3,2 | 320 | 14 |
| Irlande | 22,8 | 646 | 32 |
| Italie | 132,7 | 6 570 | 311 |
| Suède et Norvège | 24,0 | 875 | 43 |
| Portugal | 2,8 | 110 | 3 |
| Roumanie | 5,4 | 140 | 15 |
| Russie | 30,7 | 1 270 | 65 |
| Serbie | 10,0 | 200 | 11 |
| Suisse | 116,2 | 3 828 | 237 |
| TOTAUX | 2 259,3 | 68 106 | 4 514 |

On voit que l'Allemagne tient toujours la tête de la liste, avec 1 138 km. de lignes ; la France vient bien loin au second rang avec

Digitized by Google

397 km. et l'Angleterre au troisième avec 135 km., suivie de près par l'Italie avec 133 km.

De même qu'en Amérique, le procédé le plus répandu en Europe est celui du trôlet. Sur ces 204 lignes, 172 l'emploient exclusivement; 8 sont à conducteurs souterrains et 8 à distribution superficielle ; il y a enfin 13 lignes à accumulateurs, dont 3 d'un système mixte utilisant à la fois les accumulateurs et le trôlet.

La traction électrique n'a d'ailleurs pas borné là son champ d'action. Après avoir envahi les colonies anglaises, le Cap, les Indes, l'Australie, le trôlet a pénétré au Japon, au Siam, à Java, en Égypte et jusqu'en Perse : il est aujourd'hui représenté dans les cinq parties du monde.

La comparaison qui précède conduit naturellement à se demander pourquoi la nouvelle industrie, après avoir reçu ses premières applications en Europe, s'y est développée avec tant de lenteur.

Il faut observer, tout d'abord, que l'extension beaucoup plus rapide des tramways électriques en Amérique a été favorisée en partie par d'autres causes que les avantages spéciaux à ce mode de traction.

Les États-Unis se sont développés si hâtivement, sur un territoire tellement vaste, qu'on n'a pas eu le temps d'y établir des routes et des rues telles que nous en possédons. La voie ferrée, sous ses différentes formes, après avoir été l'instrument de la colonisation, y reste le principal, sinon l'unique, moyen de transport. Dans les villes, le « street railway » forme un élément caractéristique indispensable : l'état généralement mauvais des chaussées, les longues distances à parcourir, conséquence de l'horreur de l'Américain de toute classe pour l'entassement et la promiscuité, qui le porte à installer de préférence son « home » loin du centre de l'agglomération, rendent tout autre mode de communication impossible. Si l'on ajoute à cela l'intensité de vie que présentent les cités américaines et dont peu de villes françaises peuvent donner une idée, on conçoit que le tramway, né aux États-Unis, y ait pris un développement unique au monde. La prospérité d'une ville se mesure au nombre de milles de voies ferrées qu'elle possède[1] et lorsque la circulation des « street cars » vient à être

[1] Il est intéressant, à ce point de vue, de comparer les longueurs de tramways

Digitized by Google

interrompue, comme on l'a vu, par exemple, lors de la dernière grève des employés de tramways de Brooklyn, la vie sociale tout entière se trouve pour ainsi dire arrêtée. Les rues larges, tirées au cordeau, beaucoup moins encombrées que les nôtres, favorisent d'ailleurs l'emploi de la traction mécanique. La question esthétique est volontiers laissée de côté, comme on peut en juger par la figure 27 qui représente une rue américaine typique. Enfin, avec le système de tarif uniforme en usage sur les tramways des États-Unis, la vitesse joue un rôle capital, car c'est elle seule qui détermine le rayon dans lequel les habitants d'une ville peuvent aller se loger autour du centre des affaires et du travail.

Cette vitesse, les Américains ont reconnu que le trôlet la donnait, avec plus d'économie et de sécurité que n'importe quel autre mode de traction. Il s'est trouvé de plus que le système était facile à installer, qu'il donnait un service d'une élasticité incomparable. Aussi, après quelques oppositions manifestées au début contre le fil aérien, s'est-on mis à construire des lignes électriques avec enthousiasme. Les capitaux se sont portés en masse vers la nouvelle industrie, qui a pris le merveilleux essor que l'on sait.

Partout où une ligne de tramway électrique a été établie, on

exploitées et le mouvement des voyageurs dans un certain nombre de villes américaines et françaises (voir le tableau ci-dessous).

LONGUEUR DES TRAMWAYS ET MOUVEMENT DES VOYAGEURS DANS QUELQUES VILLES AMÉRICAINES ET FRANÇAISES

| VILLES | POPULATION | LONGUEUR de voies. | NOMBRE de voyageurs transportés. |
|---|---|---|---|
| | Habitants. | Km. | |
| Paris (et départ. de la Seine). . | 3 142 000 | 388 | 166 000 000 |
| Brooklyn. . . . . | 839 000 | 654 | 190 000 000 |
| Boston (et faubourgs). . . . . | 620 000 | 685 | 160 000 000 |
| Saint-Louis . . . . . | 452 000 | 468 | 96 000 000 |
| Lyon. . . . . | 438 000 | 65 | 30 000 000 |
| Marseille. . . . . | 404 000 | 84 | 26 000 000 |
| Buffalo. . . . . | 256 000 | 226 | 30 700 000 |
| Bordeaux . . . . . | 253 000 | 45 | 15 000 000 |
| Indianapolis . . . . . | 105 000 | 161 | 17 000 000 |
| Reims . . . . . | 104 000 | 14 | 4 000 000 |
| Springfield. . . . . | 44 000 | 56 | 7 500 000 |

Digitized by Google

a vu la valeur des terrains longeant la route augmenter dans des proportions considérables, en sorte que les spéculateurs de terrains ont été parmi les plus ardents propagateurs du nouveau mode de traction.

Rappelons enfin que les compagnies de tramways américaines sont moins gênées que les nôtres par les règlements administratifs.

Fig. 27. — Vue d'une rue américaine (State street, Binghampton).

Elles n'ont besoin ni d'une enquête d'utilité publique, ni d'un décret, pour acquérir le droit de construire une ligne. La seule autorisation à demander est celle d'emprunter la voie publique; cette autorisation ne dépend que des autorités locales, qui, dans 99 cas sur 100, l'accordent immédiatement; trois mois après l'obtention du droit de passage, de la « franchise », les voitures sont souvent déjà en service.

Chez nous, les formalités à remplir pour l'établissement d'un

Digitized by Google

tramway sont autrement longues et compliquées. De plus, nous avons partout d'excellentes chaussées et le tramway électrique doit conquérir sa place concurremment avec les modes de transport déjà établis. Mais les entraves administratives, pas plus que la différence de conditions sociales, ne suffisent à expliquer la lenteur du développement de la traction électrique en Europe. La principale cause de cette stagnation réside sans doute dans notre esprit de routine toujours tenace, dans la peur que nous avons de toute nouveauté. Le professeur anglais qui, voyant fonctionner le premier chemin de fer, proclamait qu'il préférerait servir de boulet de canon plutôt que de monter dans un train, a dû, bientôt après, regretter fort cette belle déclaration. Il en est vraisemblablement de même aujourd'hui pour ceux qui ont philosophé sur les menus inconvénients de la traction électrique, au lieu d'en considérer les avantages et d'analyser les causes qui en assurent partout le succès.

Malheureusement, en France, l'absence d'initiative, l'hésitation à faire du nouveau, la crainte extrême du risque, qui sont un des symptômes de l'état d'esprit de la classe moyenne de notre population, de ce qu'on a appelé « l'état d'esprit rentier », se sont manifestées dans cette branche d'industrie comme dans les autres. Nous ne manquons pas de moyens d'action, loin de là ; mais ils sont timides et ne se mettent en mouvement qu'à bon escient.

Sans aller jusqu'en Amérique, il suffit de voir ce qui a été fait en Allemagne depuis 1891 pour constater que nous sommes en retard. Il s'agit de rattraper le temps perdu. Un mouvement sérieux dans ce sens se produit déjà : la proscription générale que les municipalités avaient formulée au début contre le fil aérien tend à disparaître ; maintenant que Marseille, Lyon, Le Havre, Dijon, Rouen, Alger, Angers, Versailles, Rennes, Le Mans, Montpellier, Amiens, etc., ont permis l'installation de conducteurs aériens dans leurs rues principales, le nouveau mode de traction peut enfin se développer. Notre lenteur à l'adopter aura eu du moins pour avantage de nous épargner bon nombre des erreurs de début que la hâte des Américains ne leur a pas permis d'éviter.

**Les progrès récents et l'avenir.** — Avant de passer à l'étude

Digitized by Google

technique de la traction électrique, il nous reste un mot à dire des derniers perfectionnements réalisés.

Le chemin parcouru depuis l'installation de la ligne de Richmond est sans doute très considérable ; mais le progrès résulte du développement de principes connus et du perfectionnement graduel de tous les détails de l'appareillage, plutôt que de la découverte de procédés nouveaux.

Dans le système de traction par fil aérien, en particulier, celui qui, par son énorme extension, a contribué plus que tout autre à ce perfectionnement, il n'a été, à proprement parler, rien innové. Seulement, l'aspect matériel des lignes a été considérablement amélioré depuis l'origine : l'adoption de poteaux métalliques, qui peuvent être rendus aussi décoratifs ou aussi peu apparents que l'on désire et combinés au besoin avec des appareils d'éclairage, la réduction au minimum du nombre des fils aériens, obtenue en reléguant sous terre tous les feeders, le soin plus grand apporté au montage des courbes et surtout la simplification de construction qu'ont permis de réaliser de nouveaux modes de prise de courant, notamment l'archet, dont la maison Siemens et Halske est depuis 1890 le principal promoteur, et le trôlet à chape pivotante de *Dickinson* (1892), ont contribué à rendre l'appareillage aérien aussi acceptable que possible. Les lignes modernes ne rappellent plus que de très loin les « toiles d'araignée » de jadis.

Malgré tout, le fil aérien soulève une question d'esthétique, dont l'importance varie avec le lieu et l'appréciation personnelle de chacun, mais qui n'est pas négligeable. Un certain nombre de municipalités se refusent à l'admettre au centre des agglomérations, au moins sans correctifs. Devant leurs exigences, le système à distribution souterraine, qui a pris naissance, comme nous l'avons dit, à peu près en même temps que le système à fil aérien, mais que la simplicité et l'économie plus grandes de ce dernier avaient fait reléguer au second plan, est revenu en faveur. Les exemples de Blackpool et Budapest ont prouvé dès le début qu'un tramway à conducteurs souterrains pouvait être exploité avec succès. Depuis lors, les détails mécaniques du sytème ont encore été perfectionnés, l'isolement des conducteurs a été amélioré. En même temps se perfectionnait un autre dispositif, ancien également, car il a été

Digitized by Google

proposé dès 1883 par MM. *Ayrton* et *Perry*, et qui consiste à placer les conducteurs à fleur de sol, en les divisant en tronçons isolés, ne communiquant avec l'usine qu'au moment du passage de la voiture.

Ces deux derniers systèmes, qui satisfont à toutes les exigences de l'esthétique, sont aujourd'hui sortis de la période d'essai et peuvent rivaliser avec le fil aérien comme sécurité, sinon comme économie d'exploitation.

Les circuits de retour ont également été perfectionnés, en vue de parer aux accidents causés par l'action électrolytique du courant sur les conduites d'eau et de gaz.

Comme amélioration des procédés de distribution de l'énergie, nous citerons l'application à la traction électrique des courants polyphasés, qui donnent la solution du problème de la traction à grande distance; cette application a été réalisée pour la première fois par MM. *Brown, Boveri et Cie* à Lugano, en 1895.

Quant à la traction par accumulateurs, elle a pris peu d'extension relativement à la traction par transmission directe de l'énergie. Les accumulateurs ont néanmoins fait quelques progrès, surtout au point de vue du poids et de la durée des plaques. Une de leurs plus récentes adaptations consiste dans l'emploi simultané du trôlet et d'une batterie d'accumulateurs : la batterie est chargée en marche par le courant même de la ligne et ne sert à l'alimentation des moteurs que sur les sections où le fil aérien n'est pas autorisé. Cette combinaison, inaugurée à Hanovre à la fin de 1895 et qui tend à se répandre, fournit, dans certains cas, une solution satisfaisante du problème de la traction électrique à l'intérieur des grandes villes. Sa possibilité repose sur l'emploi d'accumulateurs à charge très rapide, qui commencent à être employés également sur des lignes à traction exclusive par accumulateurs.

A l'époque des premières applications de l'électricité à la traction, les dynamos et moteurs n'avaient guère encore été étudiés qu'en vue de l'éclairage et du transport de la force. On s'aperçut bien vite que les conditions nouvelles du fonctionnement de ces appareils sous les voitures de tramways exigeaient des dispositions également nouvelles. Une erreur générale, dans laquelle ont versé tous les débutants, tant en Europe qu'en Amérique, a été de faire

Digitized by Google

des moteurs trop faibles, insuffisamment isolés et sans protection efficace contre la poussière et la boue; la préoccupation dominante était d'alléger autant que possible les voitures. Les accidents nombreux qui furent la conséquence de ce faux point de départ ont servi d'enseignement aux constructeurs et les ont amenés à modifier peu à peu leur matériel. Des perfectionnements successifs apportés à l'armature, au champ magnétique, au collecteur et aux organes de transmission, le remplacement de la fonte par l'acier dans la construction de la carcasse ont fait du moteur de traction actuel un outil à la fois léger et puissant, admirablement approprié au service qu'il a à fournir; de 7 ou 10 chev. la puissance des moteurs est passée à 15, 25, 50, 100 et même 200 chev., pendant que leur poids descendait de 60 à 35 ou 40 kg. par cheval, la transmission comprise. C'est à M. *H. F. Parshall* et à M. *A. Schmid* qu'on doit les premiers types pratiques à simple réduction (1890-91), et nous mentionnerons en passant que ce sont MM. *Elihu Thomson* et *W. B. Potter* qui ont créé, en 1892, le premier régulateur de marche satisfaisant.

Les dynamos génératrices ont été également perfectionnées. Leur puissance a été considérablement augmentée, et, suivant en cela l'exemple donné par les stations européennes d'éclairage, les constructeurs d'usines génératrices de traction tendent à remplacer les anciennes unités de faible capacité, à commande par courroie et à grande vitesse, par de grandes unités à marche lente et à accouplement direct.

Quant aux moteurs à vapeur, ils ont dû être sérieusement renforcés, ainsi que leurs volants, pour résister aux violents à-coups qui se produisent dans le travail demandé à l'usine et qu'on cherche aujourd'hui à amortir au moyen d'accumulateurs fixes.

Une dernière conséquence, et non des moindres, de l'adoption de la traction électrique a été le renforcement général des voies de tramways. Les rails légers employés avec la traction animale n'ont pu résister à l'accroissement de fatigue résultant du passage de voitures plus lourdes et marchant plus vite; il a fallu les remplacer par des rails plus robustes, améliorer les éclissages, accorder plus d'attention à la pose et à l'entretien de la voie.

En même temps que le matériel de la traction électrique se



Digitized by Google

perfectionnait, son champ d'application s'étendait. Ce n'est plus seulement dans l'exploitation des tramways, la première conquise, c'est dans celle des chemins de fer urbains en général que le procédé nouveau occupe aujourd'hui une situation prédominante.

Dès le début, les inventeurs européens et américains, Siemens, Field, Daft, Sprague, avaient vu la possibilité d'appliquer la traction électrique aux métropolitains, et les derniers avaient même fait des expériences dans ce sens sur l' « Elevated » de New York : la figure 28 montre le train d'essai de Sprague (1886-87).

La première réalisation pratique de cette idée a été le chemin

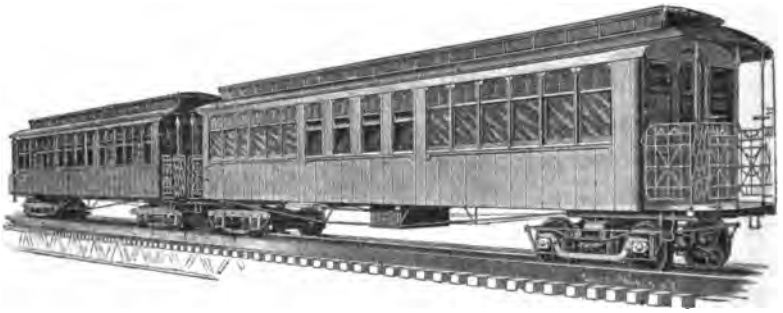


Fig. 28. — Train d'essai électrique Sprague sur le chemin de fer aérien de New York.

de fer tubulaire souterrain « City and South London » (1890) de M. *Greathead* et dont le succès a donné naissance à de nombreux projets du même genre pour Londres, Paris, Bruxelles, Berlin, etc. Puis est venue la ligne des Docks de Liverpool (1893), le premier en date des chemins de fer électriques aériens, suivi de près par l' « Intramural Electrical Road » de M. *Baker* à l'Exposition de Chicago, puis par le « Metropolitan West Side Elevated », le « Lake Street Elevated », le « South Side Elevated » de Chicago (1895-97). Toutes les lignes métropolitaines de cette dernière ville ont aujourd'hui remplacé la vapeur par l'électricité et les chemins de fer élevés de New York et de Brooklyn, très éprouvés par la concurrence des tramways de surface, réalisent ou projettent la même transformation. A Berlin, on achève un métropolitain aérien qui sera exploité électriquement ; il en sera de même pour les lignes souterraines en construction à Londres, le « Waterloo and City Ry. » et le « Central London

Digitized by Google

Ry. », et pour le métropolitain de Paris. Lorsque ni la solution du viaduc, ni celle du tunnel profond ne peuvent convenir, on a encore la ressource du tramway électrique *sous* chaussée, comme celui qui a été inauguré à Budapest en 1896 ou comme le « subway » de Boston. Les avantages de l'électricité pour l'exploitation des chemins de fer urbains, vitesse, légèreté, fréquence des trains, élasticité du service, absence de fumée, économie d'exploitation, etc., sont tels que l'avenir du trafic métropolitain des grandes villes lui appartient sans conteste.

De l'intérieur des villes, les tramways électriques se sont étendus dans la banlieue et ont peu à peu poussé leurs ramifications jusqu'aux cités voisines. Cet élargissement du champ d'action de la traction électrique, qui a eu jusqu'ici surtout l'Amérique pour théâtre, s'est fait d'une façon si logique et si graduelle qu'il est difficile d'établir une démarcation bien nette entre les lignes interurbaines et les lignes simplement suburbaines, beaucoup d'exploitations participant à la fois de la nature des deux et le matériel roulant employé offrant tous les intermédiaires entre la voiture de tramway et celle de chemin de fer ordinaire. Ces lignes, établies tantôt sur plate-forme séparée, tantôt sur le sol même des voies publiques, sont caractérisées principalement par une augmentation de vitesse et de puissance des moteurs; elles transportent à des tarifs très bas les voyageurs et parfois aussi les marchandises entre des centres de population et d'affaires souvent assez éloignés, et font, dans certains cas, une concurrence sérieuse aux chemins de fer à vapeur. Un des premiers et des plus remarquables exemples de ce genre d'entreprise est la ligne électrique reliant Minneapolis et Saint-Paul, dont l'établissement a forcé 6 lignes de chemin de fer à abandonner leur service. Nous citerons encore, parmi les lignes interurbaines les plus importantes, celles qui rayonnent autour de Cleveland (Ohio) pour aboutir aux localités voisines, Elyria, Painesville, Bedford, Akron, Berea, Lorain ; la plus longue, celle de Cleveland à Akron, atteint 61 km. ; elle est alimentée par deux stations génératrices situées au quart et aux trois quarts de sa longueur. D'autres lignes intéressantes sont : celle de Buffalo à Niagara Falls (37 km.), celle de Washington à Alexandria et Mt. Vernon (40 km.), le réseau de

Digitized by Google

Lawrence, Lowell et Haverhill (Mass.), qui présente un développement de 90 km. et dessert une population de 200 000 habitants, etc.

Nous n'avons pas encore en Europe de ligne de cette nature; on peut seulement citer comme se rapprochant du même type, en Allemagne, le réseau de 58 km. de longueur qui a pour centre Bochum (Westphalie), et les tramways de la Haute-Silésie, en Hongrie, la ligne de Budapest-Neupest-Rákospalota, en Angleterre, les tramways du South Staffordshire, en Suède, la ligne de Stockholm-Djursholm, en France, les tramways électriques en construction de Pierrefitte à Cauterets et à Luz, de Grenoble à Chapareillan (47 km.), de Moutiers à Bozel (15 km.) et le chemin de fer du Fayet à Chamonix, qui constituent les premiers exemples de la mise en valeur de nos pays de montagne par l'électricité, etc.

L'électricité a été appliquée dès l'origine à la traction dans les mines; cette application s'est ensuite développée et étendue aux transports à l'intérieur des usines, sur les embranchements industriels, etc. Le chemin de fer à voie étroite des usines à ciment Thorrand et Cie, à Voreppe (Isère), et l'embranchement minier de Montmartre à la Béraudière, près Saint-Etienne, où la traction électrique a été installée avec succès par M. *Hillairet* en 1893, offrent les premiers exemples de ce genre d'application en France. Aux États-Unis, on ne les compte plus; nous signalerons seulement, parmi les principaux embranchements d'usine ou de port desservis de cette façon, ceux de Hoboken, de Whitingsville et de Newhaven.

A mesure que leurs applications se multipliaient, les locomotives électriques augmentaient de puissance. Alors que la locomotive de Zaukerode ne pesait que 1,6 t., que les premières machines du « City and South London Ry. » pesaient 10,5 t., celles de la Béraudière 15 t., la General Electric Co. exposait dès 1893 à Chicago une locomotive de 30 t. destinée au service rapide des voyageurs.

En juin 1895, la même compagnie mettait en service une locomotive de 90 t. destinée à remorquer les trains de voyageurs et de marchandises du « Baltimore and Ohio R. R. » dans la traversée souterraine de la ville de Baltimore. Cette machine a remorqué des trains pesant jusqu'à 1 700 t. sur une rampe de 8 mm. par mètre, à la vitesse de 20 km. à l'heure, et des trains de 500 t., à la vitesse de 60 km. à l'heure.

Digitized by Google

Cette dernière application offre l'exemple le plus remarquable, à l'heure actuelle, de la traction électrique appliquée au service d'une grande ligne avec un plein succès, même au point de vue économique. Les conditions en sont, il est vrai, très spéciales, par suite de l'utilisation simultanée de l'usine génératrice pour d'autres services.

Mais déjà la traction électrique fonctionne avec succès sur plusieurs embranchements ou chemins de fer secondaires. Sur la ligne locale d'Orbe à Chavornay, en Suisse, l'électricité est appliquée depuis 1894 à la traction de wagons ordinaires à voyageurs et à marchandises. Au commencement de 1895, elle a remplacé la vapeur sur deux lignes américaines, celle de Nantasket Beach (New York, New Haven and Hartford R.R. Co.) et celle de Burlington à Mt. Holly (Pennsylvania R.R. Co.). Depuis lors, la première de ces deux compagnies, menacée par la concurrence croissante des tramways électriques voisins et encouragée par le succès de l'expérience de Nantasket, a équipé électriquement une autre de ses lignes, celle d'Hartford à Berlin, de 20 km. de longueur; la Compagnie des chemins de fer de Californie exploite dans des conditions analogues un embranchement de 5 km. de longueur; le « Norfolk and Ocean View R.R. » (15 km.) a abandonné l'exploitation à vapeur pour l'exploitation électrique; enfin, plusieurs compagnies ayant un service de banlieue important projettent de l'améliorer par l'adoption de la traction électrique : l'exemple est donné par l' « Illinois Central R.R. Co. », qui doit entreprendre cette transformation sur deux de ses voies aux abords de Chicago en vue de faire face à un trafic de 24 000 voyageurs par heure, et la « Chicago, Milwaukee and St.-Paul R.R. Co. », qui vient de décider d'équiper électriquement sa ligne de Chicago à Evanston.

Il n'existe jusqu'ici en Europe aucune installation comparable à ces dernières : la ligne locale de Türkheim à Wörishofen, reliée au réseau général bavarois, et celle de Meckenbeuren-Tettnang, embranchement de la ligne Ulm-Friedrichshafen, équipées électriquement en 1896, celles en construction de Burgdorf-Thun, de Stanstadt-Edelberg, etc., sont de simples chemins de fer d'intérêt local, de même que la ligne du Fayet à Chamonix mentionnée ci-dessus.

Les compagnies de chemins de fer du Nord, de l'Ouest, de Paris-Lyon-Méditerranée, en France, l'administration des chemins de

Digitized by Google

fer de l'État belge, l'État prussien, etc., ont cependant procédé ou procèdent à des expériences de traction par l'électricité sur leurs lignes. Nous rappelons pour mémoire les retentissants essais effectués en 1894 sur le réseau de l'Ouest par la « Fusée » *Heilmann*, qui constitue une application originale et fort discutable de la traction électrique. Ces essais viennent d'être repris, du reste, avec de nouveaux types de machines. En outre, les compagnies de l'Ouest et d'Orléans étudient l'exploitation électrique de leurs prolongements dans Paris ; en particulier les trains lourds qui circuleront sur la ligne souterraine de la place Valhubert au quai d'Orsay seront remorqués par de puissantes locomotives électriques.

Sur les lignes destinées aux touristes, la traction électrique aborde les rampes les plus fortes des montagnes. Aux lignes de Florence-Fiesole et de Grütsch-Mürren (1891) ont succédé les chemins de fer à crémaillère du Mont Salève (1892) et de Barmen (1894), qui présentent des rampes de 250 et 185 mm. respectivement, le chemin de fer à rail central, système Fell, du Mont Snaefell dans l'île de Man (1895), la ligne du Gornergrat, etc. Le chemin de fer électrique de la Jungfrau entre dans la période d'exécution et, en 1902, transportera les touristes au plus haut sommet de l'Oberland, aussi facilement que les locomotives de Riggenbach les montent aujourd'hui au Rigi-Kulm.

Enfin, quelques électriciens enthousiastes prédisent à la traction électrique de plus hautes destinées encore : ils voient déjà les grands réseaux sillonnés, dans un avenir prochain, de trains électriques rapides et légers, alimentés par des stations fixes, suivant le système de Nantasket Beach, mais dans des proportions plus grandes. A vrai dire, ce temps ne paraît pas encore aussi rapproché aux ingénieurs de chemins de fer, qui envisagent la question à des points de vue plus positifs et tiennent compte des frais énormes que nécessiterait une pareille transformation et des inconvénients de plus d'un genre qu'elle entraînerait, notamment en cas de guerre. Mais il est permis dès maintenant de prévoir qu'on en fera bientôt l'essai sur certaines lignes et qu'un jour le rêve d'apparence aujourd'hui chimérique pourra devenir une réalité.

---

Digitized by Google

# *VOIE FERRÉE*

Digitized by Google

Digitized by Google

# CHAPITRE II

## TYPES DE VOIE

**Généralités** — Les voies ferrées électriques établies *sur plate-forme séparée* se traitent absolument comme des voies de chemins de fer à vapeur. Mais nous sortirions de notre cadre en décrivant celles-ci, et, pour tout ce qui les concerne, nous renvoyons aux traités spéciaux[1]. Nous croyons utile, au contraire, de donner quelques indications générales relativement à l'établissement des voies ferrées *sur le sol des voies publiques*, parce qu'il n'existe pas d'ouvrage qui les décrive aussi complètement que les précédentes : ce problème est du reste celui qui se rencontre le plus fréquemment dans la pratique actuelle et aussi celui qui offre le plus de difficultés, en raison de l'encastrement des rails dans la chaussée et de la circulation des voitures ordinaires sur la voie ferrée. Les frais d'entretien d'une voie mal établie et les frais supplémentaires de traction auxquels elle donne lieu pèsent ensuite lourdement sur l'exploitation d'un tramway, et, dans les grandes villes, le défoncement continuel des rues occasionné par les réparations constitue une gêne absolument inadmissible.

Au début de la traction électrique, les Américains ont essayé d'appliquer le nouveau mode de propulsion à des tramways à chevaux sans changer les voies existantes. Mais les automobiles électriques, plus lourdes que les anciennes voitures, marchant à une allure plus rapide, soumettaient les rails à une fatigue incomparablement plus grande, se traduisant par une usure et une défor-

[1] Notamment au *Cours de Chemins de fer* de M. Bricka et au *Traité des Chemins de fer* de M. Humbert.

Digitized by Google

mation prématurées, surtout aux joints ; les moindres défauts de la voie étaient immédiatement mis en évidence et empirés. La voie ferrée, ainsi détériorée, réagissait à son tour sur les voitures, les soumettant à des trépidations et des cahots qui mettaient bientôt tous les organes, électriques et mécaniques, hors de service.

On dut remplacer ces voies insuffisantes par d'autres établies plus solidement. Mais en même temps les constructeurs de matériel roulant et de moteurs, préoccupés d'accroître la durée de leurs appareils, en renforçaient les différentes parties, ajoutant ainsi au poids qui intervient dans le martelage de la voie, de sorte que les voies renforcées se trouvèrent encore trop faibles.

De proche en proche, chaque progrès du matériel roulant entraînant un progrès corrélatif de la voie, et inversement, le poids des rails est passé de 15 à 30, puis à 40 et 50 kg. L'accroissement de dépenses qui en est résulté n'a pas toujours suffi à supprimer tout inconvénient, car il faut un système d'éclissage exceptionnellement robuste pour résister au martelage répété produit par les automobiles électriques. On a été conduit dans les grands réseaux à adapter des éclissages renforcés, avec des rails encore plus lourds, dont l'emploi est d'ailleurs justifié par des considérations de conductibilité électrique.

Bien que meilleures chez nous qu'en Amérique, les voies de tramways établies pour la traction animale ne peuvent, en général, servir pour la traction électrique. Exception doit être faite seulement pour certaines voies auxquelles des circonstances locales particulières ont conduit à donner de prime abord une résistance plus grande qu'il ne serait nécessaire pour le trafic du tramway considéré seul. En tout cas, la seule condition spéciale à remplir par une voie ferrée destinée à une exploitation électrique, c'est d'être aussi robuste et aussi bien établie que possible.

### § 1. — Voies en accotement

Les voies de tramways ne présentent de particularité notable que si elles sont noyées dans la chaussée.

Dans les parties en accotement et par suite inaccessibles aux voitures ordinaires, on peut en effet employer les mêmes types

Digitized by Google

de rails que sur les chemins de fer secondaires parcourus par des trains légers.

La voie Vignole, très économique à la fois comme construction et comme exploitation, convient parfaitement dans ce cas, à condition de ne pas prendre un profil trop faible. Un rail de 20 kg. au moins le mètre courant, avec des éclisses pesant 5 kg. la paire, posé sur des traverses espacées de 0,80 m. en voie courante et de 0,60 m. aux joints et aux supports voisins (soit une pose de 12 traverses par longueur de 9 m.), est d'une solidité suffisante pour permettre de marcher à la vitesse limite de 20 km. à l'heure fixée par nos règlements d'administration publique.

La figure 29 montre un exemple de voie de ce genre (Aix-la-

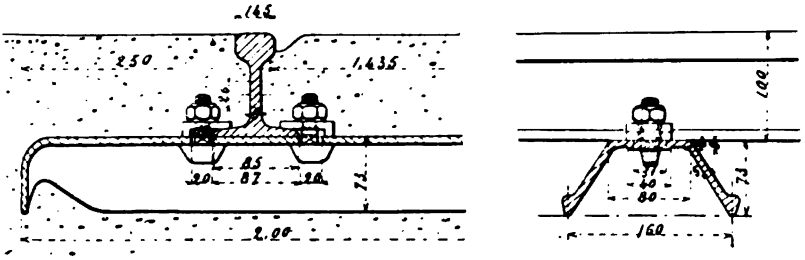



Fig. 29. — Coupes longitudinale et transversale d'une voie en rails Vignole (Aix-la-Chapelle).

Chapelle). Cette voie a 1 m. de largeur; elle est constituée par des rails de 20 kg. posés sur traverses métalliques et pèse 60 kg. par mètre courant.

Le rail Vignole est très employé aux États-Unis, non seulement sur les lignes à plate-forme séparée ou sur accotement, mais même, depuis quelques années, dans les chaussées empierrées et parfois dans les chaussées pavées : on sait que les municipalités américaines attachent moins d'importance que les nôtres aux questions de voirie, et du reste, au point de vue de la viabilité, ce rail constitue un progrès réel relativement au rail à gradin dont nous parlerons plus loin.

## § 2. — Voies en chaussée

Lorsque la voie est établie en chaussée, elle ne doit présenter

Digitized by Google

aucun obstacle au passage des véhicules ordinaires; dans ce cas, les règlements européens prescrivent en général l'emploi de rails, soit à gorge, soit accompagnés de contre-rails.

Nous allons passer sommairement en revue les principaux types de voies de l'un et l'autre genre.

Il y a deux cas à distinguer, suivant que la voie est établie sur une chaussée pavée ou sur une chaussée empierrée.

**Voies sur chaussée pavée.** — Dans les chaussées pavées, on emploie indifféremment la voie à ornière ou la voie à contre-rails.

1° ***Rails à gorge.*** — Ces rails sont caractérisés par une ornière ménagée au laminage dans le champignon et servant au passage du boudin des roues.

Nous ne mentionnons que pour mémoire les anciennes voies à gorge du système dit américain, formées de rails plats reposant sur des longrines en bois, car elles tendent de plus en plus à disparaître. Elles ont rendu d'excellents services dans l'exploitation animale, mais ne satisfont plus aux exigences de la traction mécanique.

Nous laissons également de côté tous les systèmes de rails à ornière comprenant plusieurs parties, pour arriver immédiatement au plus répandu des types actuels, au rail dit « rail-poutre », formé d'une seule pièce et qui, sous différentes dénominations, avec des profils et des modes de pose assez variables, est appliqué sur plus des deux tiers des tramways électriques urbains existant en Europe.

*Voies Broca, Phoenix, etc...* — Ce rail, qui est représenté en France par le type Broca, à l'étranger par les types Phoenix, de Hoerde, de Dick, Kerr and Co., etc., possède en effet de sérieuses qualités. D'abord, il est, comme nous l'avons dit, d'une seule pièce, ce qui simplifie l'éclissage, facilite la pose et rend l'entretien aussi peu onéreux que possible. Ensuite, contrairement à ce qui a lieu dans les voies avec rails et contre-rails, toute la section de la poutre concourt à la résistance lors du passage des véhicules de tramways.

Au début[1], certains constructeurs jugeaient utile de donner de

[1] D'après M. D. K. Clark (*Tramways, their construction and working*, 2e édition), le rail à patin et à gorge aurait été inventé et breveté par M. Charles Burn en

Digitized by Google

la base aux rails-poutres en les assemblant sur des plaques de tôle plus ou moins grandes, ou en les plaçant sur des cloches ou des traverses. On les pose aujourd'hui, à peu près partout, directement sur la fondation de la chaussée, constituée suivant les cas, soit par une couche de sable ou de ballast, soit par du béton. En donnant ainsi au rail un appui continu, on réduit les flexions au minimum et on assure au système une supériorité incontestable sur toutes les voies à supports isolés, au point de vue du roulement des voitures et de la conservation de la voie. Il n'y a guère

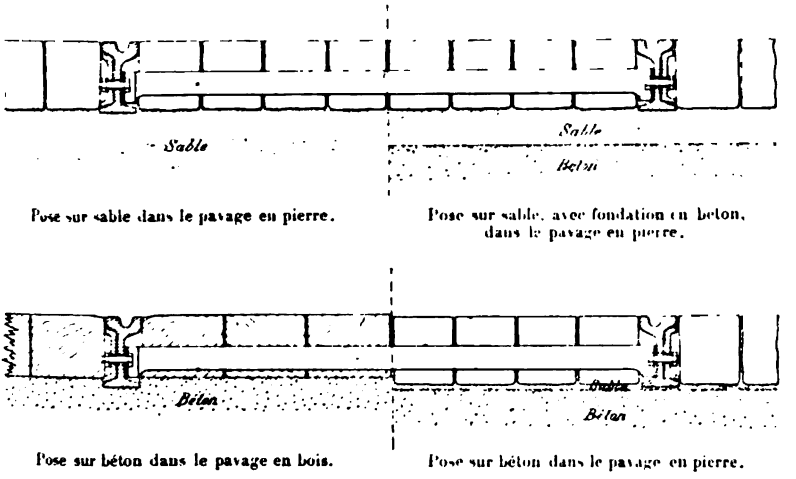



Fig. 30 et 31. — Coupes transversales de la voie Broca dans différentes natures de pavage.

que lorsque le sous-sol est très mauvais et que des tassements sont à craindre qu'on a parfois recours à la pose sur traverses; encore n'est-elle presque jamais employée dans les chaussées pavées, car les traverses sont peu compatibles avec une bonne tenue du pavage, comme nous le rappelons plus loin à propos des voies sur traverses proprement dites ; on recourt plutôt, dans ce dernier cas, à la fondation en béton.

Il existe une assez grande variété de voies à rails-poutres.

La voie Broca, la plus connue chez nous, est constituée par un

octobre 1860, puis réinventé par M. Achille Legrand, de Paris, en janvier 1877. Les premières applications du rail Broca datent de 1878. C'est à peu près à la même époque qu'ont été posés en Angleterre les premiers rails de cette espèce (rails Gowans).

Digitized by Google

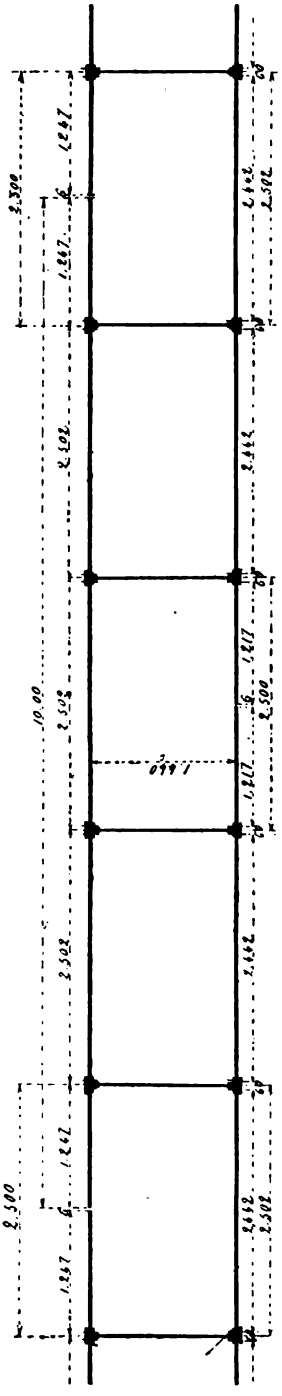


Fig. 32. — Plan de pose de la voie Broca.

rail à patin et à gorge, posé directement sur le sol. Les figures 30 et 31 montrent la pose de la voie dans le pavage en pierre, avec ou sans fondation en béton, et la pose dans le pavage en bois. Les rails sont assemblés au moyen d'éclisses épaulées contre le patin et contre le champignon, et réunies par des boulons. Ils sont maintenus à l'écartement par des entretoises en fer plat, qui se logent entre les joints des pavés. Ces entretoises sont de différents types : le plus employé actuellement est muni à chaque extrémité de deux cornières rivées, qui se fixent à l'âme du rail au moyen de boulons et d'une cale extérieure ayant la forme d'une éclisse. Ces entretoises sont calibrées, de manière à assurer rigoureusement partout le même écartement. Le montage de la voie s'effectue par joints alternés, le joint de deux rails correspondant au milieu de la longueur du rail opposé (fig. 32).

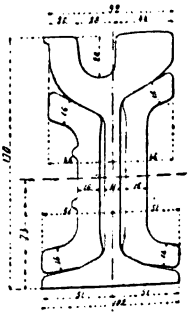


Fig. 33. — Profil de rail Broca de 44 kg. (Paris).

Le rail Broca employé à Paris pèse 44 kg. le mètre courant. Ce rail (fig. 33), en acier, est laminé par les Forges de Denain et d'Anzin Il a une hauteur de 170 mm., un patin de 102 mm., une âme de 11,5 mm. et un champignon de 92 mm., formé par une table de roulement de 44, une ornière de 28 (dont la profondeur est de 28)

Digitized by Google

et un rebord de 28 mm. La voie complète pèse 100 kg. environ par mètre courant.

Les figures 34, 35 et 36 montrent d'autre rails français du même genre : un rail de 40 kg. et un autre de 38 kg., laminés par les Aciéries de France (usines d'Isbergues) ; un rail de 36 kg., laminé par les Forges de Denain et d'Anzin.

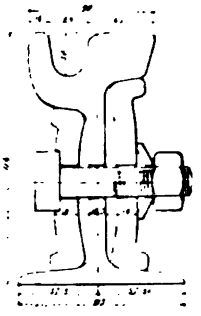


Fig. 34. — Profil de rail Broca de 40 kg.

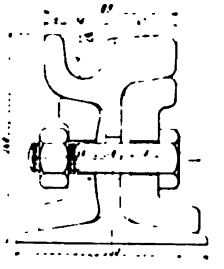


Fig. 35. — Profil de rail Broca de 38 kg.

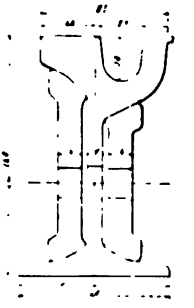


Fig. 36. — Profil de rail Broca de 36 kg.

En Allemagne, la Société « Phoenix », de Laar, près Ruhrort, ne fabrique pas moins de 68 profils différents, de 89 à 203 mm. de hauteur, et de poids variant de 18,5 à 53 kg. par mètre courant. Les figures 37, 38, 39 et 40 montrent quelques-uns des plus employés sur les lignes électriques, ainsi que les éclissages correspondants

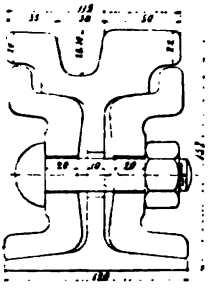


Fig. 37. — Profil de rail Phoenix de 42,5 kg.

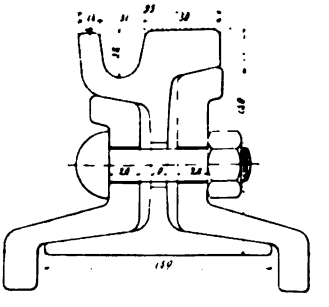


Fig. 38. — Profil de rail Phoenix de 44,5 kg.

Le poids des rails-poutres laminés en Angleterre par la maison Dick, Kerr and Co. varie de 25 à 53 kg. le mètre courant. La hauteur est comprise entre 102 et 203 mm., la largeur du patin entre 76 et 178 mm. et la largeur du champignon entre 67 et 108 mm. L'épaisseur du patin augmente depuis les extrémités, où elle est de 6 mm., jusqu'au congé de raccord avec l'âme, où elle atteint 9,5 à 17,5 mm. L'âme a une épaisseur variant de 9,5 à 13,5 mm.

Dans le choix d'un *profil* de rail-poutre, on doit naturellement se

Digitized by Google

laisser guider par les circonstances locales, notamment par le mode de revêtement de la chaussée, la nature et l'intensité du trafic. Même avec un appui continu sur la fondation, le rail ne doit pas être pris trop léger : il faut qu'il soit d'un échantillon suffisant pour résister à l'effet de laminage produit par les charges roulantes et aux efforts longitudinaux résultant de l'adhérence, pour franchir les vides inévitables de la substructure, pour combattre les poussées du pavage, pour supporter enfin l'innombrable variété d'efforts et de chocs auxquels la voie est exposée de la part des véhicules ordinaires et qui la fatiguent autant, sinon plus, que le passage des

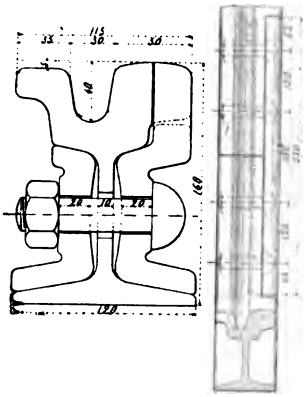


Fig. 39. — Profil de rail Phoenix de 51 kg. et mode d'éclissage (Berlin).

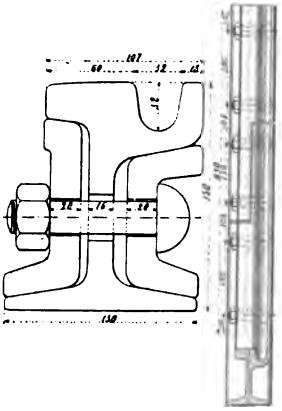


Fig. 40. — Profil de rail Phoenix de 53 kg. et mode d'éclissage (Hambourg).

voitures de tramways. Pour ces raisons, on n'emploie guère, à l'intérieur des villes, de rails pesant moins de 35 kg. par mètre courant. Des profils de 40 à 45 kg. sont employés en maints endroits, à Paris, Bruxelles, Cologne, Hanovre, Breslau, Gera, Milan, etc., et le poids par mètre courant de voie a déjà dépassé 110 kg. à Berlin (rail Phoenix de 51 kg., poids par mètre courant de voie 111,3 kg.) et à Hambourg (rail Phoenix de 53 kg., poids par mètre courant de voie 117,2 kg.).

Les hauteurs de rails les plus usitées sont comprises entre 120 et 180 mm.

En ce qui concerne le patin, l'expérience a démontré qu'une surface d'appui continue de 100 mm. de largeur sur un bon sol était suffisante pour supporter le trafic le plus pesant des rues sans aucune dénivellation du rail. On fait néanmoins souvent le patin beaucoup plus large. Il est évident que plus la base d'appui est étendue, plus la stabilité de la voie est grande. Mais, dans les

Digitized by Google

chaussées pavées, le patin large a l'inconvénient d'obliger à démaigrir les pavés contigus au rail ou à les faire reposer en partie sur le patin, suivant leur hauteur, ce qui, dans les deux cas, tend à produire leur déversement. Au point de vue du raccordement de la voie avec le pavage, il y a donc intérêt à ce que le patin ait sensiblement la même dimension que la tête du rail. D'ailleurs l'accroissement de largeur du patin augmente beaucoup les difficultés du laminage.

La largeur de la table de roulement va, dans certains types, jusqu'à 60 mm. Une largeur de 45 à 50 mm. paraît néanmoins suffisante.

Le rail doit être profilé de telle sorte que la résultante des efforts transmis par les roues de tramways passe aussi près que possible de l'axe du rail. Si l'on tient compte de la conicité donnée ordinairement au bandage, cette considération conduit à l'adoption de profils dans lesquels l'axe traverse la table de roulement tout près de son bord intérieur. Quand la pression est en porte-faux par rapport à l'âme, comme cela se trouve fréquemment, le rail est soumis à des efforts de torsion qui peuvent être considérables.

Le gorge doit avoir une profondeur assez grande pour permettre une certaine usure de la table de roulement avant que le boudin des roues ne vienne porter au fond de l'ornière; ce dernier point est en effet la partie faible de la section du rail et il s'y produirait alors des fentes ou des cassures. La profondeur habituelle est de 26 à 30 mm. Il serait bon de l'augmenter, si l'on ne veut pas voir les rails mis prématurément hors de service, car les roues des automobiles électriques ont des boudins notablement plus hauts que ceux des voitures à chevaux (18 à 22 mm. au lieu de 10 à 15 mm.). Dans le rail Phœnix employé à Berlin on a été jusqu'à 40 mm., et la tête du rail peut s'user de 20 mm. avant que le boudin de la roue ne touche le fond de l'ornière.

Quant à la largeur de la gorge, elle doit naturellement être aussi grande que le permettent les règlements locaux, afin de diminuer la résistance à la traction. En France, cette largeur est fixée par le décret du 6 août 1881 à un maximum de 29 mm. en alignement droit et de 35 mm. en courbe. Certaines usines laminent leurs rails avec des largeurs de gorge différentes pour les parties droites et pour les courbes. Mais, le plus souvent, on emploie partout le même profil et l'on se contente de raboter sur place les rails de courbe ou même simplement de les laisser raboter par les boudins des roues.

On attache en Angleterre plus d'importance que chez nous à la forme de la gorge. Dans la plupart des profils de « girder rails » anglais la face contiguë à la table de roulement est verticale, tandis que la face opposée est inclinée; cette disposition a pour but de faire rejeter par le boudin de la roue lui-même la poussière ou la boue qui se trouve dans l'ornière. L'ornière du rail Broca a au contraire ses deux faces verticales, et, si elle n'est pas nettoyée très souvent, il s'y produit des engorgements, qui ont pour effet de faire rouler les roues sur leurs boudins et d'augmenter notablement la résistance à la traction.

Le rebord de l'ornière peut avantageusement être fait plus épais pour les rails destinés à une exploitation mécanique que pour les rails servant à la traction animale. Nous croyons que pour éviter une usure prématurée il convient de ne pas descendre au-dessous de 20 mm.

L'épaisseur de l'âme est ordinairement comprise entre 7 et 13 mm. Il



Digitized by Google

importe de ne pas trop réduire les dimensions de cette partie du rail et l'on ne devrait en aucun cas lui donner moins de 9 mm.

L'*éclissage* a une importance capitale, car c'est de la perfection des joints que dépendent en majeure partie la durée de la voie, la réduction des frais d'entretien et la douceur du roulement. La forme des éclisses doit être étudiée de façon qu'elles s'appliquent bien sur le patin et sur le champignon du rail. Les portées d'éclisses supérieures ne doivent pas avoir une trop grande inclinaison par rapport à l'horizontale, car la pression des roues sur le champignon tendrait alors à écarter les éclisses. Celles-ci se font généralement à 4 trous ; mais on doit préférer celles à 6 ou 8 trous. On tend à substituer à l'éclissage ordinaire, souvent insuffisant avec la traction mécanique, des éclisses cornières, dont la figure 38 montre un exemple.

Ces assemblages robustes n'empêchent pas toujours les éclisses de prendre du jeu au bout d'un certain temps, par suite du desserrage des boulons. Il se produit alors un choc au passage de chaque roue, d'où résulte une usure toujours croissante des abouts des rails, tandis que les voitures éprouvent en ces points des secousses de plus en plus sensibles. Pour éviter cet inconvénient, on a imaginé l'assemblage au moyen d'une éclisse extérieure formant partie du champignon (demi-joint Schmidt) (fig. 39) et l'assemblage à mi-rail (fig. 40) ; ces dispositions, qui n'entraînent qu'une augmentation de prix relativement faible, ont été appliquées dans plusieurs villes allemandes, notamment à Hambourg et à Berlin, où elles ont donné jusqu'ici de bons résultats ; la première vient même d'être introduite sur les chemins de fer de l'Etat prussien.

Concurremment aux voies à ornière reposant directement sur le sol, on emploie aussi, mais d'une façon beaucoup plus restreinte, des rails à gorge posés sur traverses.

Les voies ainsi constituées n'appellent en général aucune observation particulière. Nous devons cependant une mention à un type spécial, la voie Humbert, qui a été appliquée à un certain nombre de tramways électriques, notamment aux lignes de Marseille, de Gênes, du Havre.

*Voie Humbert.* — C'est une voie entièrement métallique. Le rail

Digitized by Google

(fig. 41 et 42) a un profil analogue à celui du rail Broca, avec une gorge plus profonde (32 mm.) et un champignon à la place du patin. Il pèse 27 kg. par mètre courant. Il est fixé au moyen de coins en bois et en fer dans des coussinets en fonte, boulonnés

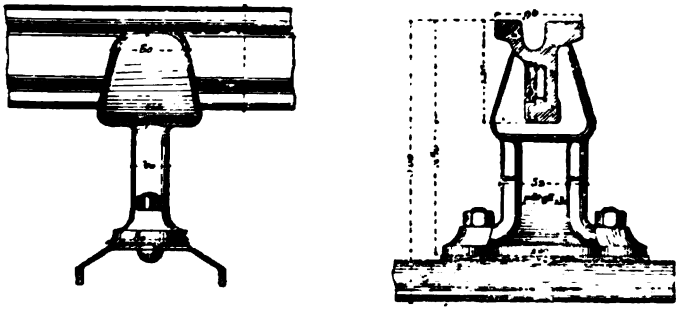


Fig. 41. — Coupes longitudinale et transversale de la voie Humbert.

eux-mêmes sur des traverses métalliques. L'écartement des traverses est de 1 m. d'axe en axe, sauf aux joints où il est réduit à 0,50 m. La jonction des rails est assurée par une seule éclisse à 6 trous d'une forme spéciale (fig. 43), qui embrasse la base des rails. La voie complète, en acier, pèse 88,5 kg. par mètre courant, avec coussinets rehaussés pour le pavage en pierre ; dans le pavage en bois sur béton et le macadam, on réduit un peu la hauteur et le poids des coussinets.

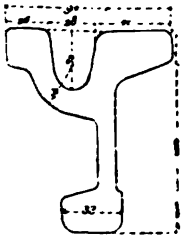


Fig. 42. — Voie Humbert. — Profil du rail.

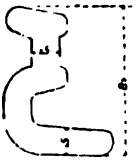


Fig. 43. — Voie Humbert. Profil de l'éclisse.

Cette voie est plus compliquée que les précédentes, ce qui augmente les frais de pose, d'entretien et de réfection partielle. Elle ne comporte plus pour le rail qu'un appui discontinu ; en outre, les traverses sont mauvaises au point de vue de la tenue du pavage, car certains pavés se trouvent au-dessus des traverses et certains autres dans l'intervalle ; la résistance du sous-sol n'est plus égale et il en résulte des déformations dans la chaussée. Enfin, cette voie est un peu faible pour la traction mécanique ; l'éclissage notamment est tout à fait insuffisant et il faudrait tout au moins, dans de

Digitized by Google

nouvelles applications, adopter des éclisses doubles. L'avantage invoqué en faveur de la voie Humbert de constituer un circuit métallique complet pour le retour du courant n'est guère sérieux, car il ne saurait dispenser de relier les rails par des connexions spéciales en cuivre pour remédier au défaut de contact électrique des différentes parties de la voie. La seule qualité qu'on puisse lui reconnaître, au point de vue électrique, c'est de maintenir un écart plus grand que ne fait la voie Broca entre le rail et le sol naturel, et de réduire ainsi les dérivations de courant à la terre.

*Rails-poutres américains.* — Aux États-Unis, on a également

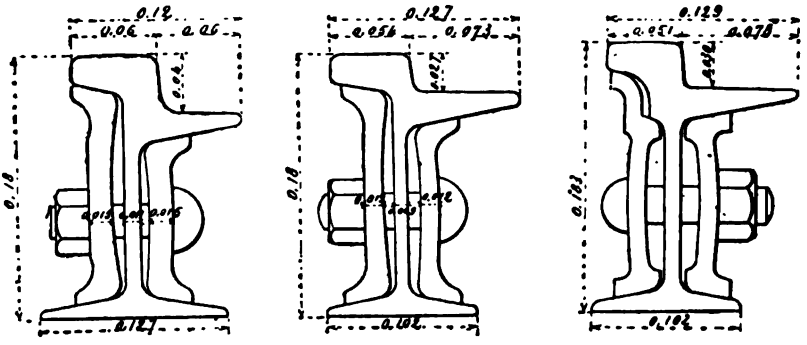


Fig. 44, 45 et 46. — Profils de rails à gradin américains.

adopté d'une manière à peu près exclusive l'usage de la longrine solide et continue. Mais le rail-poutre, au lieu de se présenter, comme en Europe, sous forme d'un rail à gorge, y affecte généralement la forme à gradin (step rail), c'est-à-dire qu'au lieu de rabattre au laminage l'aile qui forme ensuite la gorge, on la laisse droite. La surface plane ainsi constituée offre un excellent chemin de roulement aux charrettes et camions pesamment chargés, qui sont tous construits à l'écartement du tramway et usent de la voie ferrée pour leur plus grand avantage ; mais la dénivellation produite par le gradin dans la chaussée, qui va jusqu'à 28 et 30 mm., constitue pour la circulation des voitures ordinaires une gêne et un danger qui ne seraient pas tolérés dans nos villes françaises. L'adoption de cette forme de rail en Amérique ne peut s'expliquer

Digitized by Google

que par le mauvais entretien habituel des chaussées, la rareté relative des voitures légères et aussi parce qu'elle offre moins de résistance au roulement que le rail à ornière.

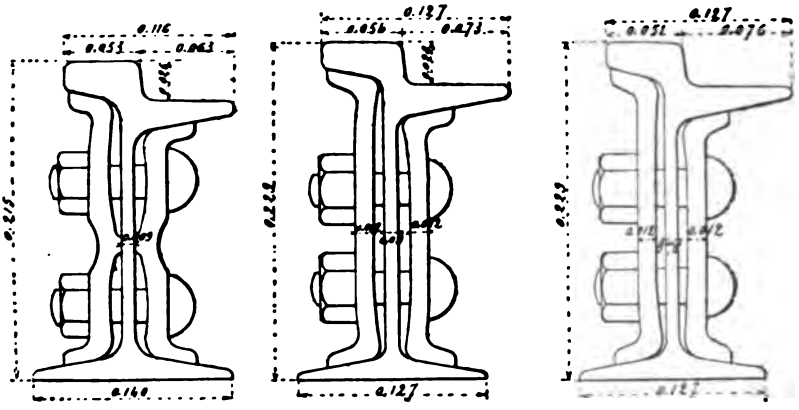


Fig. 47, 48 et 49. — Profils de rails à gradin américains.

A l'inverse de ce qui se fait en Europe, ces rails sont presque toujours posés sur traverses : cela tient à ce que les tramways américains sont le plus souvent établis, en tout ou en partie, sur des voies nouvelles, dont le sol n'est pas encore suffisamment tassé.

On trouvera dans un intéressant article publié dans les *Annales des Ponts et Chaussées* par M. l'ingénieur en chef Tavernier[1] des renseignements assez détaillés concernant l'établissement des voies de tramways aux États-Unis.

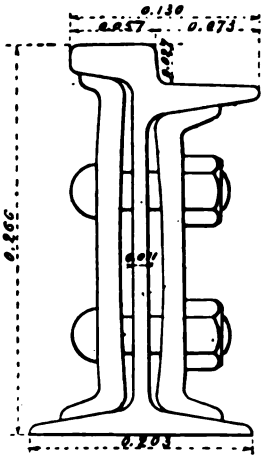


Fig. 50. — Profil de rail à gradin américain.

Ces renseignements étant déjà un peu anciens, nous donnons ci-joint (fig. 44 à 50), quelques-uns des profils les plus usités à l'heure actuelle. Ils sont tous caractérisés par leur grande hauteur, qui a pour but de permettre la suppression des coussinets et des longrines entre le rail et la traverse.

[1] *Les Tramways aux Etats-Unis*, par M. H. Tavernier. *Annales des Ponts et Chaussées*, janvier 1896.

Digitized by Google

Dans quelques villes de l'Est, où le rail à gradin est proscrit, les compagnies de tramways ont adopté le rail à gorge, mais avec des profils différents de ceux usités en Europe (fig. 51 à 53).

La tendance actuelle est d'employer des rails très lourds (40 à 50 kg. au mètre courant), posés directement sur des traverses

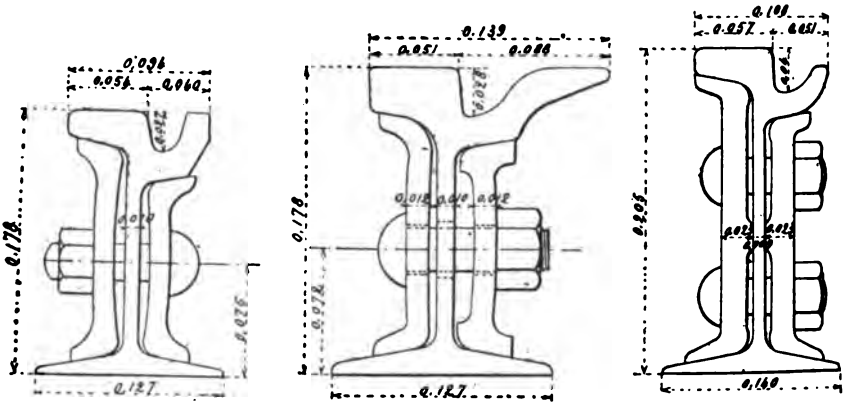



Fig. 51, 52 et 53. — Profils de rails à gorge américains.

en bois rapprochées (0,60 m. ou 0,75 m. au plus d'axe en axe). Ces traverses reposent (fig. 54) sur un lit de gros gravier ou de pierres cassées, qui assure le drainage de la voie. Les traverses

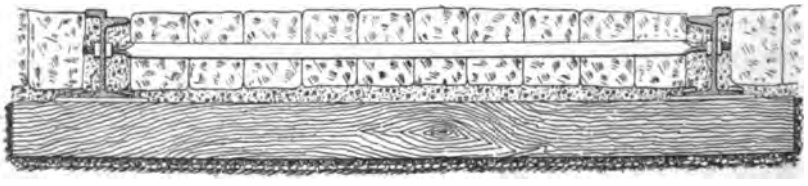


Fig. 54. — Coupe transversale d'une voie américaine.

métalliques et les fondations en béton sont encore assez rares.

Depuis l'adoption de la traction électrique, on accorde une grande attention à l'assemblage des rails; mais l'infinie variété des dispositions proposées montre que le problème n'a pas encore reçu de solution complètement satisfaisante.

Nous renvoyons au *Street Railway Journal*[1] pour la description

[1] Voir notamment le numéro d'avril 1896.

Digitized by Google

de ces innombrables dispositifs. Un des plus originaux consiste dans l'emploi de boîtes de joint à couvercle mobile, qui permettent de visiter et de resserrer les boulons d'éclisse sans démonter le pavage.

La pratique s'est introduite de poser les rails bout à bout, sans aucun jeu pour la dilatation. La question des joints se trouve ainsi en grande partie résolue, car le plus petit intervalle entre les abouts suffit pour causer un choc au passage des roues et pour amener la dislocation rapide de l'assemblage. On a même été plus loin dans cette voie et l'on a soudé entre elles les extrémités des rails. Nous parlons plus loin en détail de ce procédé.

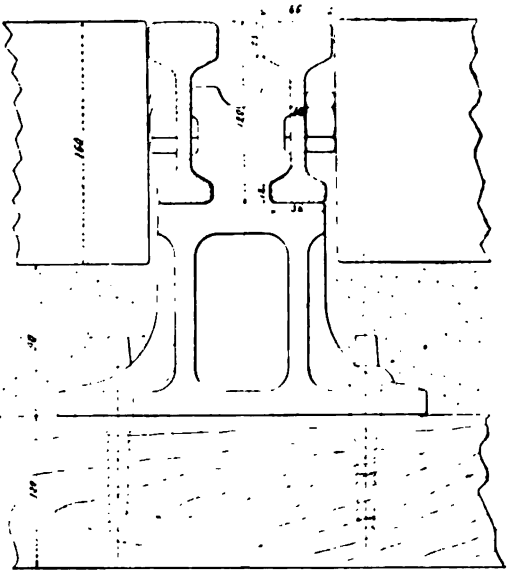


Fig. 55. — Coupe transversale de la voie Marsillon (Paris).

2° *Voies formées de rails et de contre-rails.* — Le plus connu en France des systèmes de voie avec contre-rails est la voie Marsillon, qui est employée exclusivement par la Compagnie générale des Omnibus de Paris. C'est une voie sur traverses, dont le rail et le contre-rail sont surélevés au moyen de coussinets, de manière à laisser une hauteur suffisante pour loger les pavés au-dessus des traverses.

La figure 55 montre la coupe transversale de la voie Marsillon renforcée : le rail et le contre-rail sont identiques ; leur hauteur est de 120 mm., la largeur du champignon de 46 mm., l'épaisseur de l'âme de 10 mm. et la largeur du patin de 36 mm. Le poids de chaque barre est de 20,5 kg. par mètre courant. On emploie également des profils plus légers, mais qui ne conviennent pas pour la traction mécanique. Le rail et le contre-rail sont réunis par des fourrures et supportés par des coussinets espacés de 0,60,

Digitized by Google

0,80 ou 1,20 m. La partie supérieure des coussinets présente à peu près la même forme que les fourrures ; elle est serrée comme elles par un boulon entre les deux rails. La partie inférieure est de forme variable suivant la nature du revêtement de la chaussée. Dans le pavage en pierre, le coussinet est fixé sur des traverses en bois et sa hauteur en contre-bas des rails est de 0,14 m., de façon à permettre l'interposition d'une couche de sable suffisante entre la traverse et le pavé ; lorsqu'il y a une fondation en béton, les traverses y sont encastrées, à moins qu'on ne les supprime comme la Compagnie des Omnibus tend à le faire actuellement; enfin, dans le pavage en bois, les traverses en bois sont remplacées par des traverses métalliques logées sous le béton de fondation, ou bien les traverses sont supprimées et les rails posés, soit sur des cloches noyées dans le béton, soit sur des coussinets reposant simplement sur celui-ci et maintenus par des crampons scellés dans le béton.

Les deux files de rails sont réunies par des entretoises en fer plat noyées dans le pavage.

Avec des supports écartés de 0,80 m., la partie métallique de la voie décrite ci-dessus, pour chaussée pavée en pierre, pèse environ 117 kg. par mètre courant.

A part l'inconvénient de l'appui discontinu et les défauts inhérents à l'emploi des traverses et coussinets, la voie Marsillon présente le désavantage d'être d'une pose plus compliquée et moins rapide que la voie genre Broca. Le perçage des trous nécessaires pour les connexions électriques des rails demande notamment un temps double et ces connexions elles-mêmes sont beaucoup plus compliquées, puisqu'il en faut une pour chaque barre. La poutre formée par l'assemblage du rail et du contre-rail offre bien sous le passage des voitures ordinaires à peu près la même résistance, à poids total égal, que le rail-poutre d'une seule pièce, abstraction faite, bien entendu, de l'avantage additionnel qui résulte pour celui-ci de sa portée continue sur la fondation; mais elle se trouve dans des conditions bien inférieures lors du passage des véhicules de tramways, puisque la moitié seulement de la poutre concourt alors à la résistance [1].

[1] Il ne faut pas oublier que, sur les tramways électriques, la charge statique par essieu peut s'élever à 5 et 6 t., soit environ au double de la valeur qu'elle atteint sur

Digitized by Google

Enfin, et c'est là le défaut capital du système, il est d'un entretien notablement plus coûteux que les voies constituées par un rail à gorge posé directement sur la fondation.

La résistance à la traction est sans doute un peu plus faible avec l'ornière profonde et facilement élargie en courbe des rails jumelés qu'avec la gorge relativement petite du rail Broca, mais l'économie réalisée sur les frais de traction est en général loin de compenser l'augmentation des dépenses d'entretien et de réparations que ces rails entraînent, sans parler de la gêne causée à la circulation par les réfections continuelles du pavage, considération qui a une valeur prépondérante dans les rues très fréquentées.

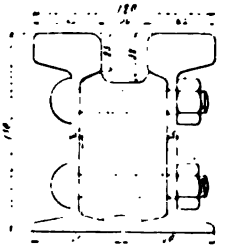


Fig. 56. — Coupe transversale de la voie Haarmann (Francfort).

Les mêmes observations s'appliquent à une modification de la voie Marsillon, qui a été imaginée par M. Heude, ingénieur en chef des ponts et chaussées, pour les Tramways Nogentais[1] et qui est constituée par deux rails dissymétriques pesant 18 kg. par mètre courant, posés, comme les rails Marsillon, sur coussinets et sur traverses. L'avantage qu'elle présente est de s'éclisser facilement avec le rail Vignole, ce qui permet de passer facilement des parties de voie sur accotement aux parties sur chaussée.

Comme exemple de voie formée de rails et de contre-rails, nous citerons encore un type assez répandu en Allemagne, la voie Haarmann. Elle est constituée par deux rails semblables, de profil dissymétrique, dont l'écartement est maintenu par des boulons traversant des fourrures, comme l'indique la figure 56. Cette voie se pose directement sur le sol, comme la voie Broca, mais sa complication et sa résistance moindre lui constituent, à notre avis, une sérieuse infériorité.

On emploie quelquefois à la place d'un véritable contre-rail une sorte d'ornière métallique rivée à l'âme du rail et facile à remplacer

les tramways à chevaux ; ces chiffres sont même souvent dépassés par suite de l'inégale répartition du poids entre les essieux dans les mouvements de tangage.

[1] *Annales des Ponts et Chaussées*, 1er semestre 1890, p. 581.

Digitized by Google

lorsqu'elle est usée. Un exemple de ce système est fourni par le rail Hartwich (fig. 57), qui se pose aussi directement sur le sol.

La Société des Chemins de fer vicinaux belges, dont toutes les voies sont établies en rails Vignole reposant sur des traverses en bois, emploie dans les rues pavées un contre-rail rivé à l'âme du rail, comme le montre la figure 58 ; parfois même, l'ornière est obtenue simplement au moyen d'une lisse en bois intercalée entre le rail et les pavés.

Enfin les Américains, qui emploient également, comme nous

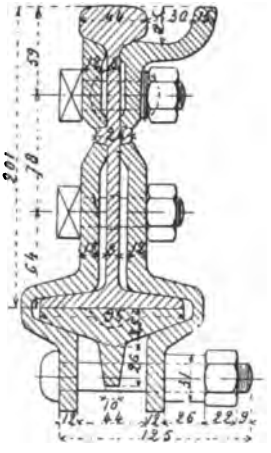


Fig. 57. — Coupe transversale de la voie Hartwich au droit d'un éclissage (Munich).

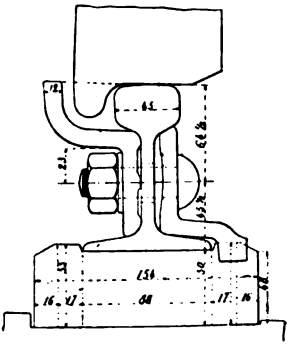


Fig. 58. — Coupe transversale de la voie à contre-rails de la Société des Chemins de fer vicinaux belges.

l'avons dit, le rail Vignole dans les rues pavées, se contentent dans ce cas de tailler d'une manière spéciale le pavé contigu au rail.

Mais ce sont là évidemment des systèmes imparfaits, dont l'emploi n'est admissible que sur des chaussées très peu fréquentées.

**Voies sur chaussée empierrée.** — L'établissement de la voie se simplifie quand, au lieu d'une chaussée pavée, il s'agit d'une chaussée empierrée.

On a encore le choix entre la voie à gorge et la voie à contre-rails, dont on peut alors abaisser ou même supprimer les coussinets. Mais la première offre dans ce cas un inconvénient : c'est que

Digitized by Google

l'ornière a toujours tendance à se remplir de pierrailles. Aussi la seconde lui est-elle souvent préférée.

La voie peut, par exemple, être constituée au moyen de deux rails Vignole, symétriques ou non, accolés l'un à l'autre et réunis par des cales et des boulons. En prenant un rail et un contre-rail identiques, on a une voie très simple et très facile à poser.

Il y a même des cas où l'administration dispense d'employer des contre-rails : la voie s'établit alors comme une voie de chemin de fer ordinaire, avec la seule différence qu'elle est noyée dans la chaussée.

Cependant, il ne faut pas perdre de vue que, sur les routes fréquentées, le contre-rail est d'une réelle efficacité pour empêcher l'ornière ménagée dans le macadam pour le passage des boudins de s'agrandir au point de créer une gène à la circulation.

---

Digitized by Google

# CHAPITRE III

## EXÉCUTION DES VOIES

### § 1. — Nature du métal employé dans la fabrication des rails

Les rails de tramways se font aujourd'hui exclusivement en acier.

Le métal est généralement obtenu par le procédé Bessemer. Les usines du nord de la France emploient, soit le procédé Bessemer acide, soit le procédé basique; les usines allemandes, à peu près exclusivement ce dernier.

Les conditions à remplir pour l'acier à rails résultent naturellement de son emploi : la voie doit d'abord être sûre, c'est-à-dire ne pas être exposée à des détériorations accidentelles ou ruptures de rails ; ensuite le métal doit présenter le maximum de résistance à l'usure.

A ce dernier point de vue, les rails de tramways, toujours couverts de poussière ou de boue, soumis en outre à des arrêts et des démarrages de voitures extrêmement fréquents, se trouvent dans des conditions relativement moins favorables que les rails de chemins de fer. Le métal doit donc être un peu dur, afin de ne pas s'user trop vite; la limite à fixer à cette dureté résulte exclusivement de la nécessité d'éviter les ruptures et de la difficulté de laminer les rails à gorge avec de l'acier très dur.

Les divers éléments qui composent l'acier à rails, le fer, le carbone, le manganèse, le silicium, le soufre et le phosphore, ont sur la qualité du métal une influence variable suivant leurs proportions. Les deux derniers sont toujours nuisibles et l'on s'ef-

Digitized by Google

force de les éliminer; mais on n'y arrive qu'imparfaitement. Le soufre, rendant l'acier impropre au laminage, ne peut exister dans les rails en proportion notable. Aussi l'impureté le plus à redouter est-elle le phosphore, qui rend le métal cassant; sa proportion ne doit pas dépasser 0,10 à 0,12 p. 100. Le silicium et le manganèse améliorent la qualité du métal s'ils ne sont pas en excès; ce dernier a par contre le défaut d'augmenter la résistance électrique dès que sa proportion s'élève à plus de 0,50 ou 0,60 p. 100. Quant à la teneur en carbone, elle doit toujours être d'au moins 0,30 p. 100[1].

On ne saurait toutefois fixer aux rails une composition chimique absolue, car on peut, avec une même teneur de ces divers éléments, obtenir des qualités mécaniques différentes et, inversement, obtenir les mêmes qualités avec des éléments chimiques différents : la température de fusion du métal, les élaborations successives auxquelles il est soumis, ont sur les propriétés physiques du produit des influences de même ordre que la constitution chimique.

Le seul moyen pratique de caractériser la nature du meilleur métal pour rails, c'est d'indiquer les résultats des essais mécaniques auxquels il doit satisfaire.

Jusqu'à ces derniers temps, l'acier Thomas employé en Allemagne à la fabrication des rails de tramways avait une résistance à la rupture de 50 kg. environ par millimètre carré; l'expérience a montré que ce métal était trop doux et s'usait trop rapidement; on lui préfère aujourd'hui un acier Thomas recarburé d'une résistance à la rupture de 60 kg. environ.

Le métal Bessemer acide présentant 55 à 60 kg. de résistance par millimètre carré, avec un allongement de 15 p. 100 et une contraction minima, dans la section de rupture, de 30 p. 100, a donné partout d'excellents résultats. C'est la qualité fabriquée notamment par les Forges de Denain et d'Anzin et par les Aciéries du Nord de la France.

[1] A titre d'indication, nous donnons, d'après une étude présentée par M. K. Bowen en 1896 à l'*American Street Railway Association*, la composition chimique des rails de tramways actuellement la plus en faveur aux États-Unis :

| | | |
|---|---|---|
| Carbone. . . . . | 0,45 à 0,60 | p. 100, avec une tendance vers le chiffre supérieur. |
| Manganèse . . . . | 0,80 à 1,00 | — |
| Silicium. . . . . | 0,10 à 0,20 | — |
| Phosphore . . . . | 0,06 à 0,09 | — |
| Soufre . . . . . | 0,05 à 0,07 | — |

Digitized by Google

On lamine aujourd'hui couramment les rails en barres de 10 m. de longueur. Mais il est préférable de ne pas dépasser 8 m. pour les rails à gorge, si l'on veut éviter les défauts aux extrémités de la barre.

On contrôle la qualité des rails par deux procédés, au moyen d'essais de résistance à la traction et d'allongement, faits sur des barrettes prélevées sur les rails, et au moyen d'épreuves au choc effectuées sur les rails eux-mêmes.

Ces dernières consistent à soumettre un bout de rail posé sur deux appuis au choc d'un mouton tombant d'une hauteur déterminée. Voici, par exemple, les conditions imposées en Angleterre pour les « girder rails » : un bout de rail de 1,50 m., reposant sur deux appuis espacés de 0,90 m., ne doit pas prendre une flèche supérieure à 25 mm. au premier coup, ni se rompre au deuxième coup, sous le choc d'un mouton de 1 000 kg. tombant de la hauteur indiquée au tableau ci-après :

| POIDS DU RAIL par mètre courant | HAUTEUR DE CHUTE | |
|---|---|---|
| | 1er coup | 2e coup |
| kilogr. | mètres | mètres |
| 30 à 35 | 1,80 | 4,60 |
| 35 à 40 | 2,10 | 5,35 |
| 40 à 45 | 2,40 | 6,10 |
| 45 à 50 | 2,70 | 6,85 |

## § 2. — Pose de la voie

**Fondation.** — Pour la pose des voies en chaussée, on commence par ouvrir une forme ayant une profondeur un peu plus grande que la hauteur du rail augmentée de celle des coussinets et des traverses, s'il y a lieu, de manière à pouvoir faire un bourrage avec du sable ou du gravier. La profondeur de cette forme varie, suivant la nature du sous-sol, le mode de revêtement de la chaussée et la hauteur de la voie, de 0,25 à 0,40 m. Le chiffre inférieur s'applique aux rails à patin reposant directement sur la fondation.

Digitized by Google

nment les rails en barres de 10 m
able de ne pas dépasser 8 m. pour
éviter les défauts aux extrémité

ails par deux procédés, au moyen
ion et d'allongement, faits sur des
, et au moyen d'épreuves au choc
nes.

umettre un bout de rail posé sur
tombant d'une hauteur déterminée
ns imposées en Angleterre pour les
e 1,50 m., reposant sur deux appui
s prendre une flèche supérieure à
rompre au deuxième coup, sous le
. tombant de la hauteur indiquée

| HAUTEUR DE CHUTE | |
|---|---|
| 1er coup | 2e coup |
| mètres | mètres |
| 1,80 | 4,60 |
| 2,10 | 5,35 |
| 2,40 | 6,10 |
| 2,70 | 6,85 |

SE DE LA VOIE

des voies en chaussée, on con-
ant une profondeur un peu plus
augmentée de celle des con-
ieu, de manière à pouvoir faire un
avier. La profondeur de cette forme
s-sol, le mode de revêtement de la
le 0,25 à 0,40 m. Le chiffre inférieur
sant directement sur la fondation



L'importance d'une fondation bien ferme, de résistance uniforme, est énorme au point de vue de la réduction des frais tretien de la voie.

La fondation en béton, très employée en Angleterre et en Fr se recommande là où la circulation est active ou le sous-sol vais, parce qu'il faut que l'ensemble du pavage et de la voie r sur une plate-forme résistante et surtout de résistance égale les maintienne bien au même niveau. Il est bon, lorsqu'on em le rail-poutre, de ne pas faire reposer le patin directeme le béton, mais d'interposer une couche de sable de quelque timètres, comme sous le pavage en pierre. Avec le pavag bois, dont la hauteur est généralement inférieure à celle d le patin doit être encastré dans le béton, ce qui a l'inc nient de rendre coûteux les remaniements et réfections de Ces réfections sont d'ailleurs plus coûteuses encore avec les sys de voie comportant des supports scellés dans la fondatio rail-poutre, quand il n'est pas posé sur traverses, ne demand 0,15 m. d'épaisseur de béton. Cependant, même dans ce c mode de fondation coûte cher[1]. De plus, s'il convient à des comme Paris, où des égouts à grande section donnent pas toutes les canalisations accessoires, il ne saurait être conseil les chaussées qui ont besoin d'être remaniées pour chaque r tion de conduite. Dans le cas d'une circulation modérée e un bon sous-sol, la fondation en béton est du reste inutile, c on peut le constater sur toutes les chaussées où depuis quin le rail-poutre a été posé directement sur sable et n'a donné aucun relevage.

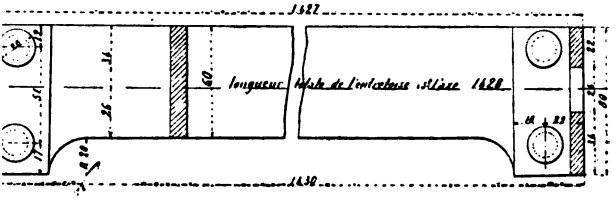
Quant aux tramways établis en accotement, ils sont pos ballastcomme les voies ferrées ordinaires. Il faut seulement m l'écoulement des eaux, en établissant un caniveau continu plaçant des drains transversaux de distance en distance dans l seur du ballast.

Largeur de la voie. — La largeur de la voie des tramway triques est assez variable. La plus répandue est la voie de 1

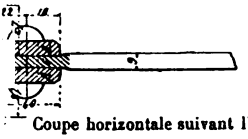
[1] 15 à 20 francs au minimum par mètre courant de voie double.

Digitized by Google

›ins, sur un assez grand nombre de lignes nouvelles, on
a largeur de la voie à 1 m., pour faciliter le passage dans
:s de faible rayon. Cette tendance nous paraît ration-
lans toutes les villes d'importance moyenne ne possédant
› de réseau de tramways, nous conseillerions l'adoption de
1 m., qui donne une grande flexibilité au tracé et dimi-
rais de pose et la dépense d'entretien du pavage, tout
luisant que d'une façon insignifiante les dimensions et
a capacité du matériel roulant.



Élévation de l'entretoise.



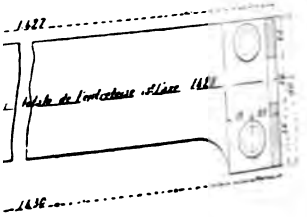
Coupe horizontale suivant l'axe.

Fig. 59. — Entretoise de la voie Broca.

:ien rigoureux de l'écartement de la voie est une con-
ıtielle, plus impérieuse encore avec la traction méca-
vec la traction animale, en raison de l'épaisseur plus
on est obligé de donner aux boudins des roues des
ɜ sans que pour cela la largeur de l'ornière soit changée.
de vue, la pose sur traverses donne toute satisfaction.
ies sur coussinets ou reposant directement sur la fonda-
recourir à des entretoises solides, qui ne puissent se
e tordre sous l'influence des pressions extérieures, et
her suffisamment. Nous donnons ci-contre (fig. 59) les
entretoise Broca. La figure 60 montre un autre modèle,
robuste, employé à Hambourg.
ıce entre les entretoises varie depuis 3 m. dans les
rdinaires jusqu'à 1 m. dans le pavage en bois.

Digitized by Google

d nombre de lignes nouvelles, on
l m., pour faciliter le passage dans
ette tendance nous paraît ration-
importance moyenne ne possédant
s, nous conseillerions l'adoption d
grande flexibilité au tracé et dim
pense d'entretien du pavage, tout
on insignifiante les dimensions d
roulant.



de l'entretoise.

tretoise de la voie Broca.

artement de la voie est une co
se encore avec la traction méca
le, en raison de l'épaisseur plus
ner aux boudins des roues des
largeur de l'ornière soit changée
raverses donne toute satisfaction
reposant directement sur la fonda
toises solides, qui ne puissent se
nce des pressions extérieures, et
us donnons ci-contre (fig. 59) les
igure 60 montre un autre modèle
Hambourg.
ises varie depuis 3 m. dans les
. dans le pavage en bois.



Il est bon de rappeler à ce propos que la pose des voies de tramways dans le pavage en bois entraîne des sujétions particulières. Le pavage en bois exerce, parallèlement à sa fondation, des poussées qui, d'après les constatations faites sur le tronçon expérimental de caniveau posé rue de Châteaudun, à Paris, peuvent atteindre jusqu'à 4 t. par mètre linéaire de voie. Les rails de tramways sont soumis de ce fait à deux pressions de sens contraire, l'une dans l'entre-rail, qui tend à les écarter, l'autre venant de l'extérieur, qui tend à les rapprocher : ces deux poussées se contre-balancent en partie; mais comme la seconde est diminuée par la liberté de dilatation vers le joint de bordure, c'est en général la première qui l'emporte, et, dans la grande majorité des cas, la voie s'élargit. En même temps, ces pressions tendent à produire le soulèvement des rails. Avec son patin encastré dans le béton de fondation, le rail Broca résiste assez bien au soulèvement du pavage, mais l'effet de la poussée horizontale ne peut être combattu que par un entretoisement très robuste, malgré

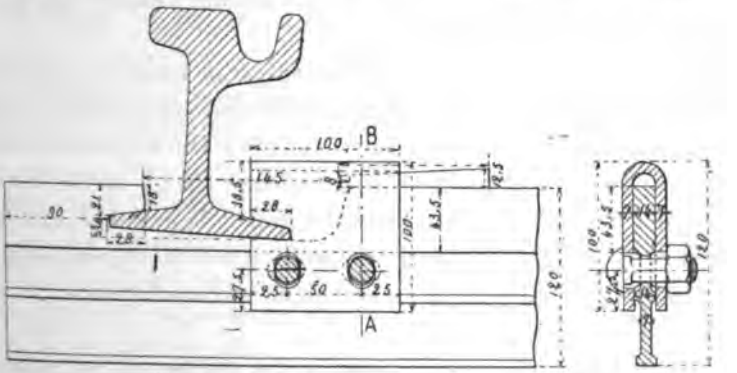



Fig. 60. — Entretoise de la voie Phœnix (Hambourg).

lequel on n'arrive pas toujours à maintenir l'écartement de la voie rigoureusement invariable. Sur la voie Marsillon, le pavage en bois produit des effets particuliers de soulèvement, dus à la forme en coin de l'ensemble des 2 rails, et on en est encore à chercher un bon mode d'attache de cette voie dans ce genre de pavage. Cette intéressante question, qui ne se présente d'ailleurs que dans quelques grandes villes, est étudiée avec tous les détails qu'elle comporte dans le traité très complet de M. Petsche, ancien ingénieur de la ville de Paris, sur le pavage en bois [1], auquel nous ne pouvons que renvoyer le lecteur pour de plus amples renseignements.

En même temps qu'elles maintiennent l'écartement de la voie, les entretoises servent à empêcher le renversement des rails. Le pavage dans lequel elles sont noyées concourt également à c

[1] A. Petsche, *Le bois et ses applications au pavage*. Paris, 1896.



Digitized by Google

résultat, mais il faut autant que possible éviter de compter sur son action, ainsi que sur l'encastrement des rails dans le béton, et assurer la stabilité de la voie à l'aide des entretoises seules, en adoptant un mode d'assemblage qui soutienne efficacement le rail sur une certaine hauteur. A ce point de vue, l'attache actuellement employée pour l'entretoise Broca, consistant en une cornière rivée à l'extrémité de la barre d'entretoise et boulonnée sur l'âme, est préférable au dispositif ancien, qui comportait une simple tige filetée s'assemblant dans le rail avec écrou et contre-écrou.

**Courbes.** — On ne donne pas en général aux voies de tramways de surécartement en courbe ; on se contente d'élargir l'ornière, et encore ne le fait-on pas toujours.

Les courbes doivent naturellement avoir un rayon aussi grand que le permettent les circonstances locales. Il ne serait pas même utile de rappeler cette règle bien évidente si l'on n'éprouvait souvent en pratique des difficultés à faire exécuter par les ouvriers poseurs des courbes de rayon suffisamment grand ; la pose de la voie étant beaucoup plus rapide en ligne droite, ceux-ci ont toujours tendance à réduire la longueur des courbes de raccordement au profit des alignements droits.

Pour éviter les chocs à l'entrée des courbes de petit rayon, il est bon de ménager des courbes de transition, présentant des rayons graduellement décroissants. Mais il faut, pour que cette précaution ne soit pas rendue illusoire, que la voie soit posée avec une exactitude rigoureuse et qu'elle ne puisse subir de déformations comme il s'en produit trop souvent, dans le pavage en bois par exemple.

Le cintrage des rails se fait sur place, sauf pour les courbes de très petit rayon.

**Soins à donner à la pose.** — D'une manière générale, la pose des voies destinées à la traction mécanique demande beaucoup plus d'exactitude et de soins que celle des voies à traction animale. Une voie bien établie est économique à entretenir ; d'autre part, elle est roulante et facilite la traction : les dépenses d'exploitation s'en ressentent d'une manière très marquée. Cette perfection d'exécution est d'autant plus nécessaire que les voies de tramways, une

Digitized by Google

fois noyées dans la chaussée, deviennent pour ainsi dire inaccessibles et qu'on ne peut les inspecter constamment comme on fait pour les voies de chemins de fer. Certaines compagnies ont l'excellente habitude, lorsque la voie est complètement posée, de la faire examiner encore une fois par le chef-monteur, qui essaie chaque écrou et donne un coup de marteau sur chaque éclisse pour s'assurer si tout est bien en ordre; c'est seulement une fois cette inspection terminée qu'on commence la réfection de la chaussée.

## § 3. — Voies soudées

**Généralités.** — Les joints sont toujours, quoi qu'on fasse, le point faible des voies de tramways. Le procédé le plus original pour éviter les défauts des éclissages ordinaires est, sans contredit, celui qui consiste à former une voie pour ainsi dire continue, en soudant les uns aux autres tous les rails d'une même file.

L'objection principale faite à ce système a trait à la dilatation des rails par la chaleur, laquelle devrait avoir pour effet de déformer la voie. Les essais, qui ont été entrepris sur une grande échelle aux Etats-Unis, démontrent que cette déformation ne se produit pas dans les voies de tramways posées en chaussée.

Brunel avait appelé dès 1851[1] l'attention sur une de ses expériences qui avait consisté à assembler bout à bout, au moyen d'éclisses rivées à chaud, des rails posés sur longrines, sur une longueur de 400 m.; cette file de rails n'avait subi aucune déformation sous l'influence des variations de température, bien que le thermomètre se fût élevé, au cours de l'expérience, jusqu'à 54°.

La « Johnson Company », de Johnstown (Pennsylvanie), puissante société qui a pour spécialité la construction du matériel de voies de chemins de fer et tramways, pensa qu'eu égard aux conditions spéciales d'établissement des voies de tramways, fortement enserrées par les matériaux de la chaussée, les effets de la dilatation devaient y être considérablement moindres que sur les voies de chemins de fer, assez faibles en tout cas pour permettre de supprimer tout intervalle entre les rails.

[1] *Proceedings Inst. C.E.* Vol. XI, 1851-52.

Digitized by Google

Pour éclaircir définitivement la question, elle procéda en 1892 à une expérience sur un tronçon de voie de tramway en exploitation de 350 m. de longueur. Cette voie était formée de rails-poutres à gradin de 152 mm. de hauteur, pesant 39 kg. au mètre courant, fixés par l'intermédiaire de selles et de crampons à des traverses espacées de 0,80 m. d'axe en axe, avec des entretoises tous les 3 m.; elle était posée dans une chaussée empierrée. Les intervalles existant entre les abouts furent soigneusement remplis par des cales de même profil que le rail, et les éclisses ordinaires remplacées par deux barres d'acier plat de 1 640 mm. de longueur, 102 mm. de hauteur et 44 mm. d'épaisseur, réunies par 18 boulons de 32 mm. et formant un assemblage absolument invariable.

Les variations de température, d'avril à septembre, furent soigneusement notées, ainsi que les effets produits [1]. L'épreuve fut décisive : entre les températures extrêmes de — 12° C. et de + 49° C. il ne se produisit aucun mouvement des rails, bien que leur température ait été constamment voisine de celle de l'air ambiant.

La tendance du rail à se dilater ou à se contracter sous l'influence des variations de température est donc combattue par la résistance de ses attaches et celle de la chaussée qui l'enserre.

Le calcul vient d'ailleurs à l'appui de l'expérience pour montrer que l'effort nécessaire pour maintenir le rail en place ne dépasse pas les limites admissibles dans la pratique.

Si l'on recherche la pression latérale à appliquer par unité de longueur à un rail continu de 1 km. de longueur, par exemple, maintenu à ses deux extrémités, pour empêcher la déformation en arc provenant de la dilatation, on trouve pour cette pression une valeur très faible et qui peut facilement être produite par la seule pression du sol environnant. Si l'on envisage une longueur de rail plus grande, ces conclusions sont encore renforcées. Il n'en est pas de même pour les très petites longueurs ; mais alors la déformation reste dans des limites tolérables. La résistance opposée par le sol tout le long du rail empêche d'ailleurs que les effets de la dilatation s'additionnent d'un bout à l'autre des voies.

[1] Tous les détails de cette importante expérience sont consignés dans une communication faite par M. A. J. Moxham, président de la Johnson C°, à l'American Street Railway Association, en 1892.

Digitized by Google

Quant à l'effort supplémentaire qu'imposent aux rails rendus continus les variations de température, l'expérience a montré que, dans nos climats au moins, il reste toujours non seulement bien inférieur à la limite d'élasticité de la matière, mais encore inférieur aux charges pratiques admises dans les constructions métalliques.

**Résistance et stabilité des voies soudées.** — Il est facile de préciser ces indications par le calcul des effets auxquels donne lieu la dilatation des voies soudées. Si on appelle $\alpha$ le coefficient de dilatation linéaire de l'acier, un rail de longueur L, dont la température est portée de $t_0$ à $t$ degrés centigrades, s'allonge d'une longueur

$$L\,\alpha\,(t - t_0)$$

Pour empêcher cet allongement, il faut lui faire subir un raccourcissement relatif

$$\frac{\alpha\,(t - t_0)}{1 + \alpha\,(t - t_0)}$$

ou sensiblement

$$\alpha\,(t - t_0)$$

ce qui exige sur les abouts du rail un effort de compression

$$F = E\Omega\alpha\,(t - t_0) \qquad (1)$$

en appelant E le module d'élasticité et $\Omega$ la section du rail.

Le coefficient de dilatation linéaire de l'acier est environ 0, 000012 par degré centigrade entre zéro et 100°, et son coefficient d'élasticité environ 20 000 kg. par mm². Si l'on suppose des variations de température de — 25° à + 50°, comme on en rencontre en Amérique et dans l'Europe centrale (pour la France, ces chiffres sont exagérés), l'écart maximum auquel des rails posés à 10° seront soumis est de 35° et l'effort maximum à prévoir par unité de section est

$$\frac{F}{\Omega} = 20\,000 \times 0{,}000012 \times 35 = 8{,}4 \text{ kg. par mm}^2$$

alors que la limite d'élasticité de l'acier à rails de tramways est de 33 kg. et sa charge de rupture de 55 à 60 kg. Pour les rails de chemins de fer, on arrive à des limites encore plus élevées : 35 à 39 kg. et 72 à 76 kg. [1].

Cet effort supplémentaire s'ajoute à ceux de la charge roulante, qui, dans le cas de rails posés sur traverses, peuvent être assez élevés et doivent être calculés en vue de cette vérification ; mais il est facile, en adoptant un type de rail suffisamment lourd, de maintenir l'effort total au-dessous de la limite d'élasticité.

Le soudage des rails n'est admissible qu'à condition de pouvoir empêcher la dilatation ; car celle-ci n'atteindrait pas moins de 0, 000012 × 35 = 0, 00042

[1] Voir trois articles de M. Mussy : *Annales des Ponts et Chaussées*, 1890, 2e semestre, p. 493, et 1891, 2e semestre, p. 372 ; *Génie Civil*, 1893-1894, p. 138.

Digitized by Google

de la longueur totale, soit 0,42 m. par kilomètre. Cet allongement est évité par des ancrages ou par le frottement des matériaux de la chaussée contre le rail.

On remarquera que l'effort tangentiel total à appliquer à cet effet est indépendant de la longueur de la voie, l'allongement dû à la dilatation et le raccourcissement dû à la compression étant tous deux proportionnels à la longueur. Il en résulte que l'effort d'ancrage nécessaire par unité de longueur varie en raison inverse de la longueur totale ; c'est ce qui en permet la réalisation pratique.

Pour l'évaluer, il suffit de remarquer que la compression d'un rail fixé par un about et soumis à un ancrage continu sur toute sa longueur variera suivant une loi linéaire, depuis zéro à l'extrémité libre jusqu'à un maximum à l'extrémité contre-butée ; si les deux extrémités sont libres, on pourra considérer le milieu du rail comme un point fixe. Dans les deux cas, si on appelle $f$ l'effort d'ancrage ou de frottement par unité de longueur, l'effort *moyen* de compression auquel est soumis le rail entier est $\frac{fL}{2}$ et il produit un raccourcissement

$$\frac{fL}{2\Omega E} L \tag{2}$$

qui vient en déduction de la dilatation. L'allongement résiduel a donc pour valeur

$$\Delta L = L \left[ \alpha (t - t_0) - \frac{fL}{2\Omega} \right] \tag{3}$$

et peut être aisément calculé quand on connait $f$.

Pour qu'il n'y ait pas de déplacement, il faut que l'effort d'ancrage soit supérieur ou égal à celui de la dilatation, c'est-à-dire

$$fL \geqq 2\alpha (t - t_0) E\Omega \tag{4}$$

En supposant par exemple un rail de 5 000 mm² de section soumis à l'écart de température de 35°, on trouve

$$fL \geqq 2 \times 0{,}0000\,12 \times 35 \times 20\,000 \times 5\,000 \geqq 84\,000 \text{ kg.}$$

Pour contre-buter le rail libre, il faudrait un appui présentant une résistance de 84 tonnes ; mais, si la voie a, par exemple, 1 kilomètre de longueur, il suffit d'un effort d'ancrage de 84 kg. par mètre. Une voie sur traverses, où chaque traverse présente aisément une résistance de plus de 100 kg., est donc suffisamment bien ancrée lorsque l'espacement des appuis est inférieur à 1 m. Pour les rails-poutres posés directement, l'expérience n'a pas été faite encore et l'on peut craindre que le frottement du pavage ne donne pas des valeurs aussi élevées ; mais il ne faut pas oublier que les entretoises très nombreuses de ces voies constituent par elles-mêmes un puissant ancrage.

Nous avons supposé dans ce qui précède que le rail restait rectiligne ; mais il n'en ainsi que s'il est retenu en des points fixes très rapprochés, comme c'est le cas des voies sur traverses. L'intervalle maximum possible entre ces nœuds $a$ est donné en fonction de la force de compression Q par la formule d'Euler[1],

[1] Cf. *Cours de résistance des matériaux* de M. E. Collignon, inspecteur général des ponts et chaussées, p. 238 et suivantes.

Digitized by Google

$$\frac{EI\pi^2}{a^2} = Q \tag{5}$$

d'où, en remplaçant Q par sa valeur F donnée par l'équation (1), et en appelant $r$ le rayon de gyration de la section

$$a = \frac{\pi\sqrt{I}}{\sqrt{\Omega\alpha\,(t - t_0)}} = \frac{\pi r}{\sqrt{\alpha\,(t - t_0)}} \tag{6}$$

Soit, par exemple, $r = 0{,}025$ m.; on aura dans les mêmes hypothèses que ci-dessus

$$a = \frac{3{,}14 \times 0{,}25}{\sqrt{0{,}000\,42}} = 3{,}80 \text{ m.}$$

Au delà de cette valeur de l'espacement des points fixes, le rail maintenu à ses extrémités tend à se transformer en une sinusoïde ayant pour équation

$$y = f \sin \frac{\pi}{a} x \tag{7}$$

étant la flèche maxima.

Si cette transformation était possible, l'effort de butée ou d'ancrage Q donné par la formule (5) serait diminué proportionnellement à $\frac{1}{a^2}$ ; ici par exemple, pour $a = 38$ mm., Q serait réduit au $\frac{1}{100}$ de la valeur F précédente. Mais ces déformations sont limitées par la présence du pavage, qui ne permet pas au rail de prendre la flèche $f$ que nous allons calculer.

La longueur développée du tronçon de sinusoïde ayant $a$ pour internœud a pour valeur approchée

$$a\left[1 + \left(\frac{f\pi}{2a}\right)^2\right]$$

Celle-ci doit être égale à la longueur primitive $a$ augmentée de la dilatation $\alpha\, a\,(t - t_0)$ et diminuée du raccourcissement produit par la compression

$$\frac{Q}{\Omega}\,\frac{a}{E} = \frac{r^2\pi^2}{a}$$

D'où l'égalité

$$a\left[1 + \left(\frac{f\pi}{2a}\right)^2\right] = a\left[1 + \alpha\,(t - t_0) - \left(\frac{\pi r}{a}\right)^2\right] \tag{8}$$

qui détermine la valeur de la flèche

$$f = \frac{2a}{\pi}\sqrt{\alpha\,(t - t_0) - \left(\frac{\pi r}{a}\right)^2} \tag{9}$$

Si l'on suppose un internœud de 25 mètres seulement et $r = 0{,}025$ m., comme plus haut, on trouverait déjà une flèche énorme

$$f = \frac{50}{3{,}14}\sqrt{0{,}000\,42 - 0{,}000\,31} = 0{,}17 \text{ m.}$$

tandis que le pavage ne peut évidemment permettre qu'un jeu de quelques

Digitized by Google

millimètres ; le rail ne peut donc pas se déformer autant que le voudrait la dilatation.

Il est facile de s'assurer que la pression ainsi produite contre le pavage reste cependant assez faible pour ne pas amener de mouvement dans la chaussée. En effet, si l'on suppose que la forme du rail ainsi pressé latéralement reste sinusoïdale, l'angle très petit de sa fibre neutre avec l'axe de la voie aux nœuds aura sensiblement pour valeur, d'après l'équation (7),

$$\alpha = \frac{dy}{dx} = \frac{a}{\pi} f$$

Il y aura équilibre entre l'effort total de compression normal à la voie P et la résultante des deux compressions Q aux deux nœuds de la sinusoïde; d'où

$$P = 2 \frac{\pi}{a} f Q.$$

La flèche réelle étant très faible, l'effort $a$ se trouve très peu modifié par les réactions transversales et on peut lui attribuer sensiblement la valeur trouvée dans l'hypothèse d'un rail rigide. On pourra donc faire encore, comme plus haut $\frac{Q}{\Omega} = 8{,}4$ kg. : mm².

S'il s'agit par exemple d'un rail de 5 000 mm², on trouvera ainsi

$$P = 6{,}28 \times 8{,}4 \times 5\,000 \frac{f}{a} = 26\,000 \frac{f}{a},$$

ce qui donne des valeurs peu élevées.

Par exemple, si la flèche atteint 0,01 m. et l'internœud 26 m., on aura

$$P = \frac{260\,000}{26} \times 0{,}01 = 100 \text{ kg.}$$

Il en est de même dans les courbes de la voie : celles-ci tendent bien à être ripées dans le sens de la convexité par la dilatation ; mais le pavage s'y oppose aisément et annule sensiblement les réactions transversales, ce qui permet de considérer seulement la compression longitudinale F.

Le seul inconvénient qui soit réellement à craindre pour une voie de tramway continue est un soulèvement dans le sens vertical : celui-ci pourrait se produire si, pour un élément de longueur $ds$, la résultante verticale des compressions sur les deux faces de l'élément dépassait le poids même de celui-ci. Soit $p$ le poids par unité de longueur, $d\alpha$ l'angle des deux compressions, égales toutes deux à la valeur F calculée plus haut; la condition de stabilité est

$$p ds \geqq F d\alpha$$

ou, en appelant R le rayon de courbure du rail dans le sens vertical,

$$R = \geqq \frac{F}{p} \qquad (10)$$

$$R \geqq 127 \frac{F}{\Omega}$$

en attribuant à l'acier la densité 7,9.

Digitized by Google

Si l'on adopte pour la compression superficielle la valeur $\frac{F}{\Omega} = 8,4$ kg.: mm², trouvée plus haut, on obtient ainsi

$$R > 1070 \text{ m.}$$

Il faudrait donc que le rayon de courbure dans le plan vertical fût partout supérieur à 1 000 m. pour éviter le soulèvement, tandis que, dans les voies de tramways, ce rayon descend souvent au-dessous de 500 m.

Mais heureusement le poids des rails se trouve, en fait, majoré de celui des éclisses, des entretoises, des coussinets et des traverses, s'il y en a, et du pavage supporté par celles-ci; en admettant qu'il soit doublé du fait de ces accessoires, le rayon limite s'abaisse à 500 m., ce qui écarte en général tout danger. Il serait bon néanmoins d'examiner cette éventualité, car on cite des cas où elle s'est produite en Amérique.

Sur les voies ferrées en accotement ou sur plate-forme séparée, le rayon de courbure dans le profil en long ne descendant jamais au-dessous de 1 000 m., on n'a pas de soulèvement à craindre; d'autre part, la présence de traverses distantes au plus de 0,90 m. et noyées dans du ballast rend tout déplacement longitudinal et toute déformation sinusoïdale impossibles.

Si l'on emploie des locomotives plus lourdes que les automobiles ordinaires, les efforts totaux peuvent être plus élevés, sans qu'on ait cependant à craindre en général d'atteindre la limite d'élasticité du métal.

On remarquera que sur ces voies, où le rail n'est pas retenu latéralement dans l'intervalle entre les points d'appui, l'effort du métal dans les courbes sous l'influence de la dilatation peut prendre des valeurs un peu plus élevées qu'en alignement droit. En effet, la formule connue des pièces courbes donne pour valeur maxima de l'effort total du métal par mm² dans la portion de courbe située entre deux coussinets

$$C = \frac{F}{\Omega} + \frac{Mv}{I} = \frac{F}{\Omega}\left(1 + \frac{fv}{r^2}\right) \qquad (10)$$

en appelant $r$ le rayon de gyration, $v$ la demi-dimension transversale de la section du rail, $f$ la flèche du tronçon considéré, et $a$ la poussée produite par la dilatation entre les points fixes; on peut attribuer à celle-ci sensiblement la même valeur que précédemment, c'est-à-dire 8,4 kg.

Supposons, par exemple, qu'il s'agisse d'un rail Vignole pour lequel on ait $r = 0,02$, $v = 0,05$, que les attaches soient distantes de 0,90 m. et que le rayon de la courbe soit 100 m.; la corde correspondante $f$ est sensiblement égale à 0,01 m. et l'on a

$$e = 8,4\left[1 + \frac{0,001 \times 0,05}{0,0004}\right] = 9,5 \text{ kg.}$$

chiffre encore très acceptable.

En définitive, on voit que les réactions longitudinales et latérales auxquelles peut donner lieu la dilatation des rails continus sont en général sans inconvénient lorsque la voie est posée sur traverses. Toutes les perturbations peuvent être maintenues dans des limites acceptables sous de faibles efforts, qui ne prendraient de l'importance que dans des sections de voie très courtes. Même

Digitized by Google

dans le cas de rails-poutres posés directement dans la chaussée, pour lequel on manque d'expériences, on peut considérer l'ancrage des rails par les entretoises comme probablement suffisant.

Deux moyens ont été mis en œuvre pour réaliser cette continuité des rails.

**Soudure électrique.** — On a imaginé d'abord de souder les rails entre eux au moyen de l'électricité.

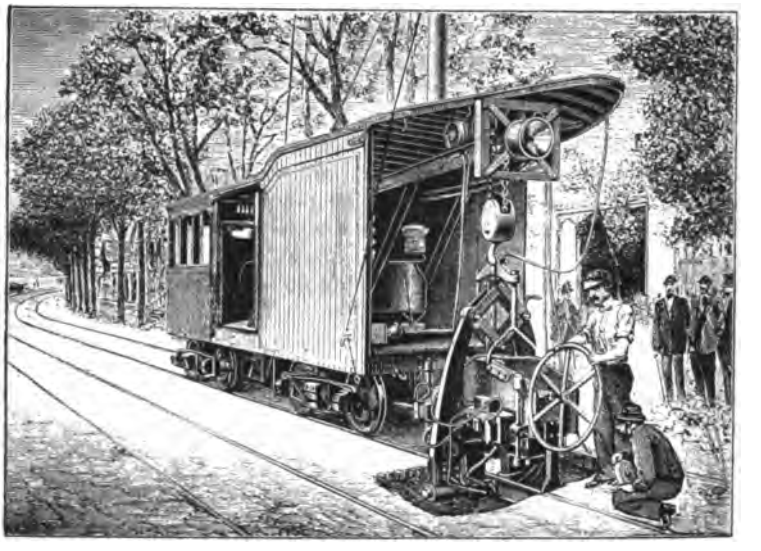


Fig. 61. — Voiture équipée pour la soudure électrique des rails.

Les premières applications du procédé ont été faites par la Johnson Cº en 1893 à Johnstown, puis à Boston.

Dans ces applications, les rails n'étaient pas soudés bout à bout, mais simplement réunis par une paire d'éclisses spéciales, recourbées en ⊔, soudées à chacun d'eux séparément par leurs pattes, ce qui nécessitait deux opérations par joint. On se servait naturellement pour la soudure du courant même de la ligne, mais en lui faisant subir une transformation pour augmenter la chaleur dégagée.

La figure 61 représente la voiture ayant servi à l'opération. Elle porte un convertisseur rotatif à courant continu qui reçoit le courant à 500 volts de la ligne et le convertit en courant alternatif à 300 volts; un transformateur fixe, qui constitue l'appareil à souder proprement dit (fig. 62), ramène ce courant à une tension d'environ 4 volts avec une intensité de 40 000 ampères. La voiture porte en outre un moteur électrique servant à sa propulsion, un second moteur actionnant le treuil d'une grue qui supporte le transformateur soudeur, et enfin

Digitized by Google

un petit moteur commandant par un flexible une meule à émeri destinée à décaper les rails avant l'opération.

Pour faire une soudure, on commençait par mettre le joint à découvert, démonter les anciennes éclisses et nettoyer soigneusement les bouts de rails à la meule. Puis on forçait entre les abouts une cale d'acier mince pour assurer un contact parfait et on appliquait de part et d'autre des âmes une paire d'éclisses de la forme indiquée sur la figure 63, mesurant 0,18 m. de longueur sur 0,10 m. de largeur et 0,025 m. d'épaisseur.

Ces éclisses étaient prises entre deux blocs de cuivre creux correspondant aux deux pôles du transformateur, dont le circuit se fermait ainsi à travers leurs pattes et l'extrémité de l'un des rails. Le passage du courant pendant deux ou trois minutes suffisait pour amener l'acier au blanc soudant; pendant ce temps, un courant d'eau rapide circulait dans les blocs de cuivre pour empêcher leur échauffement. Puis, à l'aide d'un système de leviers et de vis, on exerçait sur le joint un serrage énergique, ayant pour effet de rapprocher les portions ramollies des éclisses et de l'âme du rail.

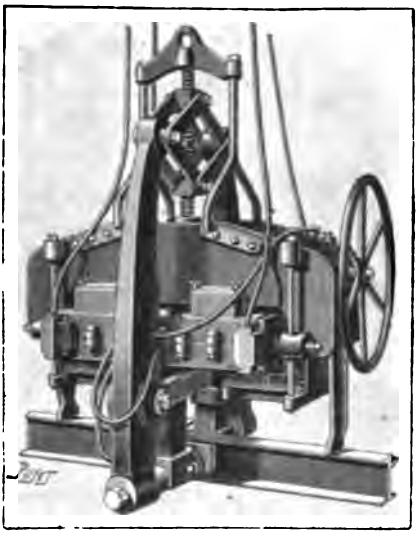


Fig. 62. — Transformateur soudeur.

La même opération se répétait ensuite à l'extrémité du second rail.

Ce premier essai ne donna pas des résultats aussi satisfaisants qu'on l'espérait. Pendant l'hiver 1893-94, 6 p. 100 environ des joints soudés se brisèrent. Les ruptures se produisaient, non dans les éclisses, mais dans le rail lui-même, à l'endroit de la soudure. Elles furent attribuées, non sans raison, à une modification causée par l'opération dans la texture et dans les tensions moléculaires du métal.

On chercha dès lors à perfectionner le procédé.

Au commencement de 1894, un nouveau mode d'opérer fut essayé à Saint-Louis. Il consistait à souder sur les deux rails à la fois des morceaux d'acier recouvrant le joint de part et d'autre sur toute sa hauteur. On avait ainsi une surface de contact plus étendue entre les rails et les pièces de jonction, et de plus on comptait réaliser une sorte de soudure par bout en comprimant ces pièces assez énergiquement pendant l'opération pour que le métal ramolli vienne remplir le joint. Le matériel employé différait peu du précédent. Il comprenait un chariot muni de deux moteurs et des appareils de réglage usuels. Du trôlet, le courant passait (fig. 64) dans un coupe-circuit automatique, un commutateur, un ampèremètre et un rhéostat de démarrage, pour se rendre à un convertisseur rotatif qui le convertissait en courant alternatif; la fréquence de courant obtenue était de 73 à 74 périodes par seconde. Ce

Digitized by Google

courant était ensuite dirigé, à travers un interrupteur et une bobine d'induction régulatrice à noyau de fer mobile, dans un transformateur fixe qui le changeait en un courant de grande intensité sous 3 ou 4 volts de tension. Ce dernier appareil était suspendu à une grue; son enroulement secondaire était constitué par une seule spire de cuivre massif aboutissant à des contacts en

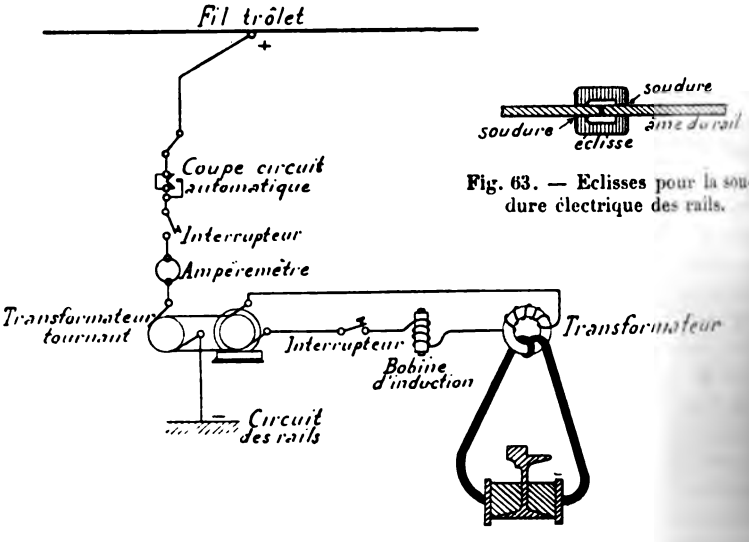



Fig. 63. — Eclisses pour la soudure électrique des rails.

Fig. 64. — Schéma du circuit de soudure.

cuivre creux entre lesquels se faisait la soudure. La voiture contenait également un moteur actionnant la grue et un autre commandant une pompe qui faisait circuler un courant d'eau froide à l'intérieur des contacts creux. Elle était précédée d'un chariot auxiliaire portant deux moteurs électriques qui actionnaient des meules à émeri. La machine à souder était installée à l'arrière, de façon qu'on ne fût pas obligé de faire passer le matériel sur un joint encore chaud.

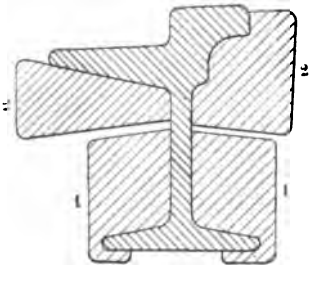


Fig. 65. — Blocs servant à la soudure.

Avant de souder un joint, on faisait buter l'un contre l'autre les deux bouts de rails, en enfonçant un coin dans le joint précédant, et l'on dressait à la meule les faces verticales des rails sur une longueur de 0,05 m. de part et d'autre du joint. Puis le joint était emboîté entre deux blocs d'acier 1,1 (fig. 65), enveloppant partiellement le patin et sur lesquels venaient s'appliquer les pièces de contact. On faisait alors passer progressivement le courant et, lorsque la température de soudure était atteinte, on pressait très fortement les pièces de contact l'une contre l'autre, de manière à faire pénétrer une certaine quantité de métal fondu entre les abouts des rails.

Digitized by Google

Puis on mettait en place les deux blocs supérieurs 2,2, sur lesquels on recommençait l'opération.

Le temps moyen nécessaire à la confection d'un joint variait de douze à quinze minutes, dont la plus grande partie était prise par les opérations préparatoires et la mise en place de la machine. Chaque soudure absorbait une quantité de courant de 250 ampères environ pendant deux à trois minutes sous la tension moyenne de 500 volts. Le prix de revient était de 15 à 20 fr. par joint. On a soudé ainsi 10 km. de voies.

Fig. 66. — Matériel de soudure électrique des rails employé à Brooklyn.

A Cleveland, la compagnie Johnson a de même soudé électriquement 3 400 joints de rails pendant l'été de 1894.

Mais le réseau sur lequel ce procédé a été appliqué sur la plus vaste échelle, est celui de Brooklyn, où plus de 50 km. de voies ont été soudés par cette méthode. Le matériel de soudure (fig. 66) était ici renfermé dans deux voitures au lieu d'une : la première contenait le moteur générateur, la seconde le transformateur réducteur de potentiel et la machine à souder. L'opération se faisait d'ailleurs comme précédemment, à part quelques perfectionnements de détail, notamment l'emploi d'un survolteur à l'entrée du transformateur pour remédier aux baisses de voltage de la ligne et la substitution de la pression hydraulique au serrage à vis pour le rapprochage des pièces de contact; on avait aussi augmenté les dimensions des blocs de soudure et contre le cham-

Digitized by Google

pignon du rail on disposait un bourrelet en matière non conductrice de façon à réduire les pertes de chaleur.

Depuis lors, on a cherché à réaliser la soudure effective des rails bout à bout. La compagnie Johnson a fait de nombreuses recherches dans ce sens et, d'après une communication récente d'un de ses ingénieurs, M. Eyre[1], elle serait arrivée à de bons résultats pratiques en pressant très fortement l'un contre l'autre les abouts des rails à souder, emboîtés entre deux mâchoires. Le mode d'opérer est le suivant : on place diagonalement de chaque côté du joint, contre les rails préalablement décapés, deux contacts en cuivre, modelés sur le profil du rail; en face de chaque contact se place un bloc d'acier de même forme, et les deux pièces sont maintenues en position par des cales et des boulons traversant les trous d'éclisses; on fait passer le courant et, quand la température est suffisamment élevée, on rapproche l'un de l'autre les deux rails à l'aide d'une presse hydraulique de façon à refouler le métal tout autour du joint. Il ne reste plus ensuite qu'à aplanir le dessus du champignon du rail.

Il est bien difficile de porter dès maintenant un jugement définitif sur la valeur commerciale des procédés de soudure électrique des rails. Ce qu'on peut dire seulement, c'est que les portions de voie ainsi soudées se distinguent des voies ordinaires par une plus grande douceur au roulement, et, à l'inspection, par la difficulté qu'on éprouve à découvrir les joints bien aboutés et parfaitement lisses. Pendant l'été, on ne constate aucune déformation de la voie. La conductibilité électrique du joint est aussi bonne que celle du rail lui-même, ce qui constitue un avantage précieux lorsqu'on emploie les rails comme circuit de retour.

Le procédé, susceptible encore de perfectionnements opératoires, semble devoir donner la solution cherchée de la question des joints, si l'on parvient à ne pas modifier la résistance mécanique du métal aux points de soudure.

C'est en effet là qu'est encore le point faible du système : la température élevée à laquelle se fait la soudure tend à modifier la structure du métal et à le rendre cassant. Il faut cependant constater que des progrès importants ont été accomplis. Sur la ligne de Saint-Louis, 3,27 p. 100 des joints soudés électriquement se sont brisés[2] pendant l'hiver. A Cleveland, cette proportion est tombée à 0,18 p. 100.

[1] *Street Railway Journal*, décembre 1896, p. 776.

[2] La température moyenne, pendant la construction de cette ligne, a été de 17° (minimum — 10°, maximum + 37°). Durant l'hiver qui a suivi l'opération, la température a plus basse a été de — 24° et, pendant l'été suivant, la température est

Digitized by Google

Le nouveau mode de soudure par bout donne, paraît-il, des résultats meilleurs encore et l'on arriverait par ce procédé à ne pas changer la texture du métal aux points de soudure. Mais ces dires auraient besoin d'être confirmés par la pratique.

Un autre inconvénient du système, et celui-là semble plus difficile à éliminer, c'est de nécessiter un matériel encombrant et coûteux, dont la dépense d'achat est à peu près prohibitive pour une compagnie de tramways ; la question des réparations éventuelles se trouve par là singulièrement compliquée, car on ne peut évidemment pas faire revenir la machine sur les lieux chaque fois qu'il s'agira de refaire un joint brisé.

**Soudure à la fonte.** — A ce dernier point de vue, il faut reconnaître certains avantages à un procédé plus récent qui consiste à réunir les extrémités des rails au moyen d'une coulée de fonte.

Ce procédé a été mis en œuvre pour la première fois à Saint-Louis, en 1895, sur 5 km. de voies, puis à Saint-Paul, Minneapolis, Newark, Memphis, Providence, Orange, Brooklyn, Chicago, etc.; plus de 20 000 joints ont été soudés ainsi dans cette dernière ville par la « Falk Manufacturing Company », de Milvaukee.

Le matériel employé à Chicago se compose d'un petit cubilot monté sur roues et traîné par des chevaux ; il est muni d'une soufflerie actionnée par un moteur à pétrole. Le métal introduit dans le cubilot se compose pour moitié de fonte siliceuse dure, pour un quart de fonte siliceuse douce et pour un quart de ferraille ; la fusion s'effectue très rapidement : vingt minutes après que le vent a été donné, le métal est prêt à couler. Pour faire un joint, on commence par enlever les éclisses et décaper les extrémités des rails sur 0,20 m. environ de longueur ; s'il y a un intervalle entre les abouts, on le remplit avec une cale d'acier mince. Puis on entoure le joint d'un moule en fonte enduit de graphite, préablement chauffé au rouge sombre ; ce moule est en deux pièces, qui sont fixées au rail au moyen

montée à 38°. La voie est ainsi passée par une série de températures dont la différence atteint 62°, soit un écart maximum de 41° sur la température moyenne constatée lors du soudage.

Sept des joints, en se brisant, se sont ouverts de 50 mm. ; mais, pour un grand nombre, l'ouverture était à peine perceptible. En moyenne, elle a été de 6 mm. Pendant l'été, les ouvertures ont diminué, mais sans jamais se refermer complètement.

Une conséquence intéressante se dégage de ce fait. Pour un écart de température de 41°, chaque file de rails se serait contractée de 2,52 m., si elle avait été libre sur toute sa longueur. En réalité, aucun des intervalles n'a dépassé 50 mm. et leur somme n'a pas excédé 150 mm. Cela semble bien démontrer que l'effet qui a brisé chaque joint n'était pas la somme d'efforts transmis tout le long de la voie, mais plutôt le résultat de tensions locales, se produisant sur une faible longueur de part et d'autre du joint.

Digitized by Google

de boulons et d'étriers. On garnit de sable réfractaire les bords de toutes les ouvertures et on laisse l'appareil en place assez longtemps pour que les bouts de rails s'échauffent. Une plaquette de tôle est engagée dans le joint pour compléter la fermeture. La fonte au sortir du cubilot est reçue dans une

Fig. 67. — Soudure des rails à la fonte. — Opération du coulage.

poche de fondeur, puis versée avec précaution dans le moule (fig. 67); on laisse celui-ci en place pendant dix minutes environ, pour que le métal se refroidisse

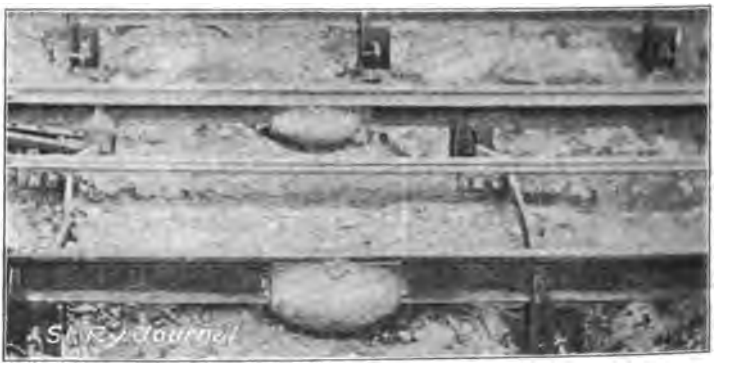


Fig. 68. — Vue d'un joint soudé à la fonte.

lentement. Une équipe de six à huit hommes avec un cubilot peut ainsi faire de 70 à 100 joints par jour; la coulée elle-même prend très peu de temps : il suffit de trois heures pour couler 40 joints. Pour éviter une contraction ou une expansion trop considérable des rails, on traite d'abord les joints de deux en deux et on les laisse refroidir complètement avant de passer aux joints intermédiaires. Les éclissages ainsi faits (fig. 68) consomment environ 45 kg. de métal et couvrent 4 trous de boulons, ce qui leur donne à peu près 0,40 m. de longueur. Ils coûtent 15 fr. environ.

Digitized by Google

La confection des joints coulés est évidemment plus simple que celle des joints soudés ; le matériel qu'elle exige coûte beaucoup moins cher et encombre moins les voies. Mais il semble *a priori* beaucoup plus difficile d'obtenir une bonne soudure entre l'acier et la fonte, qu'entre deux pièces d'acier à la température bien plus élevée atteinte dans le procédé électrique. De plus, la fonte et l'acier ayant des coefficients de dilatation différents, il peut en résulter des effets nuisibles, avec le temps, à la solidité du joint.

Jusqu'ici, les résultats obtenus sont les suivants : à Chicago, sur 20 600 joints soudés à la fin de 1895, 254 seulement, soit 1,23 p. 100, se sont rompus durant l'hiver qui a suivi ; toutes ces ruptures ont eu lieu pendant les premiers froids ; il ne s'en est pas produit par la suite, bien que la température ait varié de — 22° à + 10°. A Minneapolis, où la température est descendue jusqu'à — 31°, 11 joints sur 2 000 environ, soit 0,55 p. 100, ont cédé. Dans tous les cas, on a constaté que la rupture était due à une mauvaise soudure.

Au point de vue mécanique, le second système ne paraît donc pas inférieur au premier. Il n'en est malheureusement pas de même au point de vue électrique, ainsi que nous le dirons plus loin en étudiant la question du retour du courant.

Il paraît donc prudent, avant d'appliquer cette méthode en France d'une manière générale, d'attendre les résultats que donnera une expérience entreprise récemment sur la ligne de Lyon-Oullins.

Mais il est certain que si l'on arrivait, par l'un ou l'autre de ces deux procédés, à obtenir des assemblages indestructibles, les compagnies de tramways trouveraient, même au prix d'une dépense supérieure à celle des éclissages actuels, un avantage certain à souder leurs rails entre eux, pour supprimer les joints avec tous les ennuis et les frais d'entretien qu'ils entraînent. La durée d'une voie deviendrait ainsi celle des rails eux-mêmes, au lieu d'être limitée à la durée des joints.

## § 4. — Appareils de voie

Avec la traction mécanique, il est indispensable qu'aux bifurcations la voiture soit dirigée automatiquement sur la voie à suivre



Digitized by Google

et l'on doit, par suite, proscrire les changements sans lame d'aiguille mobile, qui ont longtemps suffi avec l'exploitation par chevaux. On peut à la rigueur se contenter d'une seule lame mobile;

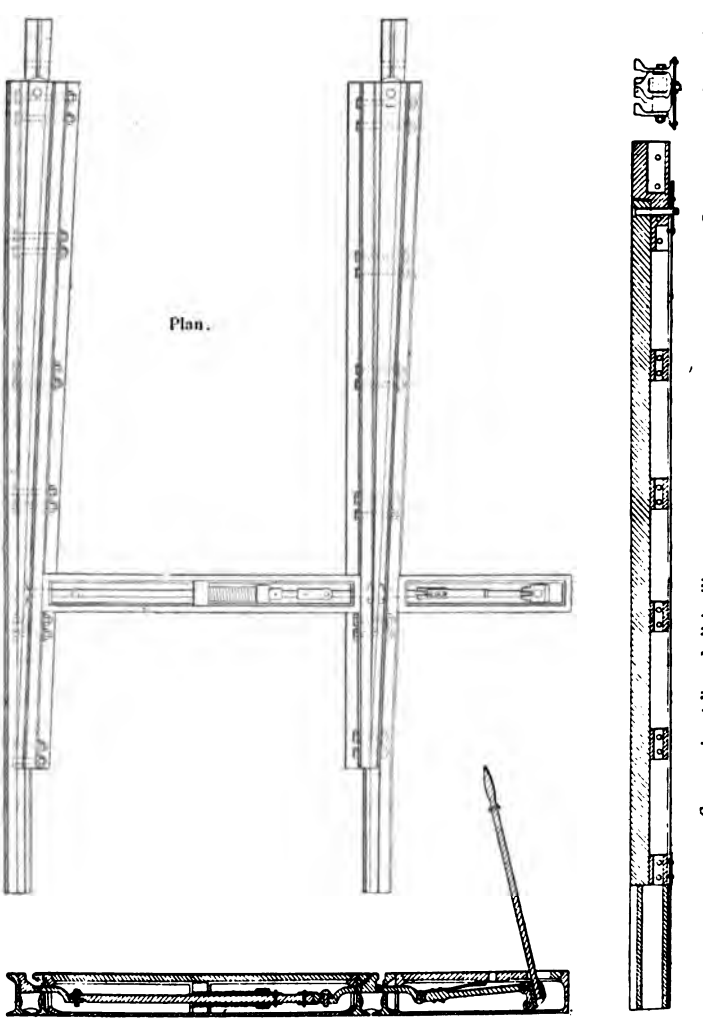



Fig. 69. — Appareil de manœuvre d'un changement de voie (système Massicard).

mais il vaut mieux avoir deux lames mobiles et solidaires l'une de l'autre.

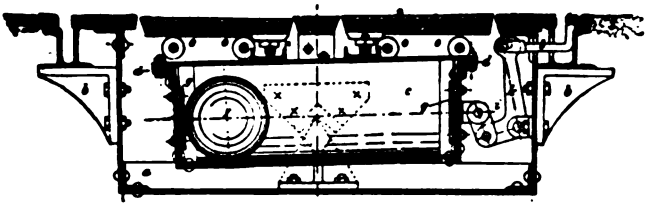
Les appareils de changement de voie ressemblent alors à ceux des chemins de fer. Leur longueur doit seulement être réduite afin

Digitized by Google

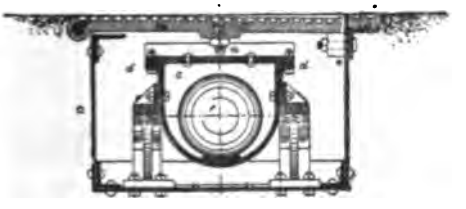
de ne pas occuper trop de place sur la chaussée. Toutefois, l'angle de cœur ne doit pas dépasser 9° à 10°, ni le rayon de la courbe de raccordement descendre au-dessous de 50 m., si l'on veut assurer le passage des voitures automobiles dans de bonnes conditions.

L'aiguille est généralement maintenue dans sa position normale par un ressort fixé sur le rail contre-aiguille. On change sa direction en agissant sur la lame au moyen d'une pince.

Dans le système Massicard (fig. 69), employé à Paris, le ressort,



Coupe perpendiculaire à l'axe de la voie.



Coupe parallèle à l'axe de la voie.

Fig. 70. — Changement de voie à manœuvre automatique (système Paschke).

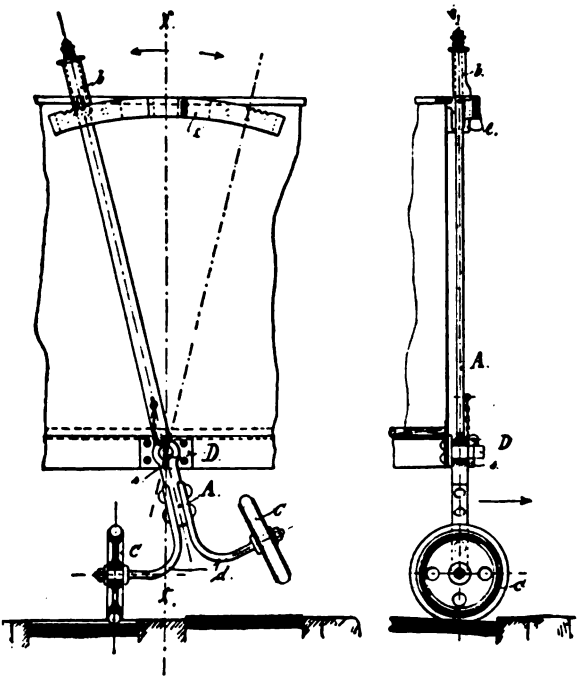
au lieu d'être appliqué directement contre la lame d'aiguille, agit sur la tringle de connexion; il est placé dans une boîte noyée dans la chaussée; pour changer la direction, on agit au moyen d'un levier passé dans un trou ménagé dans le couvercle de la boîte sur l'extrémité de la tringle de connexion. Ce système, permettant de placer le levier de commande en dehors de la voie, rend la manœuvre plus commode que dans le cas précédent.

M. Seguela a appliqué un dispositif perfectionné[1], qui permet de fixer à volonté, d'une manière permanente, la direction de l'aiguille, soit sur la voie droite, soit sur la voie déviée, en la laissant talonnable, ou bien de laisser l'aiguille dans la position qui lui serait assignée après le talonnement.

[1] Voir le *Portefeuille économique des Machines*, 1894, p. 129.

Digitized by Google

Un grand nombre de systèmes ont été imaginés pour rendre la manœuvre des lames d'aiguille automatique. Nous sortirions de notre cadre en abordant l'étude détaillée de ces mécanismes, dont aucun ne s'est encore répandu dans la pratique, car la boue, la neige, la gelée, le passage des véhicules ordinaires constituent des obstacles à peu près insurmontables au fonctionnement régulier d'un appareil qui est forcément noyé dans la chaussée.




Vue de face. Vue latérale.

Fig. 71. — Levier de manœuvre des pédales.

Nous donnons cependant, à titre d'exemple, les plans (fig. 70) d'un dispositif de ce genre, l'appareil Paschke, qui vient d'être appliqué à Berlin. Il se compose essentiellement d'une caisse à bascule *c*, lestée par un boulet *f* et reliée à la tringle de manœuvre de l'aiguille par un levier *k* et une bielle de commande *i*; les pédales *m*, *m* provoquent le basculement de la caisse dans un sens ou dans l'autre; ces pédales sont manœuvrées par le mécanicien au moyen du levier A à deux galets C,C (fig. 71), installé à l'avant de la voiture, et se trouvent limitées dans leur course par des

Digitized by Google

taquets *n,n*, qui empêchent le poids reposant sur les pédales de venir fausser les levier et tringles de manœuvre.

Les aiguilles et les cœurs se font en fonte durcie, en acier coulé, ou avec des coupons de rails rabotés et assemblés. La fonte est sujette à se briser sous les chocs causés par le passage des automobiles électriques et on tend à l'abandonner. Les appareils formés de coupons de rails offrent l'avantage de s'éclisser facilement avec le reste de la voie et de s'user de la même manière. En Amérique, où les chocs au passage des appareils spéciaux sont particulièrement durs, en raison de la grande vitesse des voitures et du mauvais état habituel des voies, on cherche à obtenir en ces points la plus grande solidité possible en constituant les cœurs au moyen de coupons de rails encastrés dans un bloc de métal fondu ou soudés électriquement les uns aux autres; on fabrique aussi des appareils d'une seule pièce en acier-manganèse.

## § 5. — Dépenses d'établissement des voies

Le prix d'établissement des voies de tramways varie, en ce qui concerne la voie proprement dite, non seulement avec le système employé, mais encore avec une foule d'autres éléments, tels que le cours des fers, la distance du transport, les droits d'octroi, le prix du sable ou du ballast et celui de la main-d'œuvre. D'autre part, pour les voies en chaussée, à la dépense de fourniture et de pose de la voie proprement dite s'ajoutent des travaux de terrassements, de démolition et de reconstruction de chaussée, qui varient du simple au quintuple suivant la nature et l'état du revêtement, et suivant les charges imposées par les municipalités.

On conçoit donc qu'il est impossible d'indiquer le prix de revient exact même d'un type de voie particulier. C'est une question d'espèce.

Nous dirons cependant, à titre de renseignement et étant bien entendu qu'il ne s'agit que de prix *moyens*, qu'une voie sur accotement, en rails Vignole de 20 kg., revient approximativement, dans le département de la Seine, à 15 fr. le mètre courant, non compris la fouille ni le ballast.

Digitized by Google

Ce prix se décompose à peu près comme il suit :

| | | | |
|---|---|---|---|
| Rails et éclisses. . | 42 kg. à 16 fr. les 100 kg. . . | 6,72 fr. | |
| Petit matériel . . | 3 kg. à 35 fr. — . . | 1,05 — | |
| Traverses en bois. | 1,25 tr. à 3,50 fr. l'une. . . | 4,38 — | |
| | | | 12,15 fr. |
| Transport du matériel à pied d'œuvre, 45 kg. à 14 fr. les 1 000 kg. . . . . | | 0,63 fr. | |
| Pose de la voie (en alignement droit) y compris sabotage des traverses, coltinage, relevage, dressage et bourrage . . . . . | | 2,00 — | |
| | | | 2,63 fr. |
| Total par mètre courant . . . . . | | | 14,78 fr. |

En ce qui concerne le prix de revient total d'une voie sur accotement, nous donnons ci-dessous, à titre d'exemple, une estimation faite par la Compagnie des Chemins de fer Nogentais :

| | | |
|---|---|---|
| Rails : 2 de 8 m. à 20,188 kg. le mètre courant = 323,000 kg. à 0,16 fr. le kg . . . . . | 51,69 fr. | |
| Éclisses d'acier : 2 paires à 4,900 kg. la paire = 9,800 kg. à 0,16 fr. le kg. . . . . | 1,56 — | |
| Boulons d'éclisses : 8 × 0,340 kg. = 2,720 kg. à 0,33 fr. le kg. . . . . | 0,90 — | |
| Tirefonds en fer : 40 × 0,319 kg. = 12,760 kg. à 0,30 fr. le kg. . . . . | 3,83 — | |
| Rondelles Grover : 8 × 0,020 kg. = 0,160 kg. à 3,87 fr. le kg. . . . . | 0,62 — | |
| Traverses : 10 tr. de 2,20 × 0,14 × 0,10 à 3,50 fr. l'une. . . . . | 35,00 — | |
| Total. . . . . | 93,60 fr. | |
| Soit au mètre courant. . . . . | | 11,70 fr. |
| Transport du matériel à pied d'œuvre. . . . . | | 0,74 fr. |
| Pose de la voie . . . . . | | 1,60 — |
| Frais accessoires de pose. . . . . | | 0,31 — |
| Fouille de terres : 8,00 × 2,50 × 0,30 = 6 m³ à 0,90 fr . . . . . | 5,40 fr. | |
| Chargement et transport des terres en décharge avec augmentation de 1/5 pour foisonnement : 6,00 + 1,20 = 7,200 m³ à 2,50 fr. . . . . | 18,00 — | |
| Fourniture de sable : 8,00 × 2,50 × 0,15 = 3,000 m³ à 6,50 fr. . . . . | 19,50 — | |
| Fourniture de cailloux : 8,00 × 2,50 × 0,15 = 3,000 m³ à 7,00 fr. . . . . | 21,00 — | |

Digitized by Google

| | | |
|---|---|---|
| *Report*. . . . . | 63.90 fr. | 14,35 fr. |
| Reprise de sable et de cailloux pour réglage de la forme : 6,000 m³ à 0,65 fr. . . . . | 3,90 fr. | |
| | 67,80 fr. | |
| Somme à valoir pour frais de surveillance, etc. : 10 p. 100. . . . . | 6,78 — | |
| Total. . . . . | 74,58 fr. | |
| Soit au mètre courant. . . . . | | 9,32 fr. |
| Prix de revient total du mètre courant de voie simple. . . | | 23,67 fr. |

Dans les cas ordinaires, on se tiendra dans des limites suffisamment larges en évaluant à 25 fr. en nombre rond le prix de revient total par mètre courant d'une voie simple en rails Vignole de 20 kg. posée sur accotement.

Pour les voies en chaussée, le prix de revient varie évidemment suivant le type de voie adopté, mais cet élément n'a pas autant d'influence qu'on pourrait le croire sur le chiffre total de la dépense.

Ainsi le prix de revient par mètre courant d'une voie en rails Broca de 44 kg., pour fourniture et pose de voie seulement, non compris par conséquent la démolition de la chaussée, la préparation de la forme, ni la réfection de la chaussée, peut être évalué, pour le département de la Seine, hors Paris, à 20 fr. environ, se décomposant ainsi :

| | | |
|---|---|---|
| Rails et éclisses, 95 kg. à 17 fr. les 100 kg. . . . | 16,15 fr. | 17,55 fr. |
| Petit matériel, 4 kg. à 35 fr. les 100 kg. . . . . | 1,40 — | |
| Transport du matériel à pied d'œuvre, 99 kg. à 14 fr. les 1000 kg. . . . . | 1,39 — | 2,39 fr. |
| Pose de la voie (en alignement droit, y compris coltinage, bourrage et réglage . . . . . | 1,00 — | |
| Total par mètre courant. . . . . | | 19,94 fr. |

La même voie en rails de 36 kg. reviendrait à 15,50 fr. environ.

La voie métallique Humbert, pesant 88,5 kg. au mètre courant, coûte approximativement, pour fourniture et pose, 19,50 fr. par mètre courant dans les chaussées empierrées, avec coussinets bas, et 20 fr. dans le pavage, avec coussinets hauts.

La fourniture et la pose d'une voie Marsillon en rails et contre-

Digitized by Google

rails de 20,5 kg., sur supports espacés de 0,80 m., peuvent être évaluées, toujours dans les mêmes conditions, à 28 fr. environ, se décomposant comme il suit :

| | |
|---|---|
| Rails et éclisses, 84,500 kg. à 16 fr. les 100 kg. . . . . | 13,52 fr. |
| Coussinets et fourrures, 28,500 kg. à 15 fr. les 100 kg. . . | 4,27 — |
| Petit matériel, 4 kg. à 35 fr. les 100 kg. . . . . | 1,40 — |
| Traverses, 1,3 tr. à 3,50 fr. l'une. . . . . | 4,55 — |
| Transport du matériel à pied d'œuvre, 117 kg. à 14 fr. les 1000 kg. . . . . | 1,64 — |
| Sabotage des traverses. . . . . | 0,32 — |
| Pose de la voie (en alignement droit) . . . . . | 2,50 — |
| Total par mètre courant . . . . . | 28,20 fr. |

La même voie en rails et contre-rails de 17,5 kg., sur supports espacés de 1,20 m., coûterait de 24 à 25 fr. par mètre courant.

A ces prix, il convient, dans chaque application particulière, d'ajouter d'abord les droits d'octroi[1], dont il n'a pas été tenu compte et qui peuvent majorer notablement les chiffres indiqués, puis la plus-value pour les courbes, la fourniture et la pose des appareils de voie, aiguilles, croisements, plaques tournantes, etc.

Disons, à titre d'indication, qu'une aiguille en rails Broca de 44 kg. coûte à peu près 250 fr. Le prix des cœurs varie, suivant l'angle, de 50 à 100 fr. Une plaque tournante vaut, posée, 2 500 fr. environ.

C'est surtout en ce qui concerne les travaux de démolition et de réfection de la chaussée que la dépense est susceptible de varier dans des proportions considérables, car elle dépend à la fois de la nature du revêtement (empierrement, pavés de bois, pavés de porphyre, pavés de grès), du degré d'usure de la chaussée et par suite de la quantité plus ou moins grande de matériaux à remplacer, de la largeur de la zone dont la réfection est à la charge de la compagnie de tramways.

Nous laisserons d'abord de côté les chaussées des grandes villes comme Paris, qui constituent un cas tout spécial.

Les prix suivants, que nous donnons pour exemple parce qu'ils nous paraissent d'une application assez générale, sont empruntés à un devis de la Compagnie des Chemins de fer Nogentais. Ils se

[1] 3,60 fr. les 100 kg. à Paris.

Digitized by Google

rapportent à l'établissement d'une voie Marsillon : 1° sur une chaussée empierrée ; 2° sur une chaussée pavée. La chaussée est supposée, dans les deux cas, refaite *entièrement à neuf* dans l'entre-rail et sur une zone de 0,50 m. de chaque côté des rails, soit sur une largeur totale de 2,50 m. Les prix comprennent toutes les dépenses de terrassements, transports, fournitures et main-d'œuvre.

### 1° Chaussée empierrée

| | |
|---|---|
| Démontage de chaussée empierrée sur 0,25 m. d'épaisseur : $1,00 \times 2,50 \times 0,25 = 0,625$ m³ à 3 fr . . . . . | 1,87 fr. |
| Fouille de terres : $1,00 \times 2,50 \times 0,20 = 0,500$ m³ à 0,90 fr.. . | 0,45 — |
| Règlement de la forme : 2,50 m² à 0,05 fr. . . . . | 0,13 — |
| Passage à la claie de 2/5 des déblais provenant du démontage pour fournir une couche de pierre cassée de 0,10 m. d'épaisseur : $\frac{2 \times 0,625}{5} = 0,250$ m³ à 0,85 fr . . . . . | 0,21 — |
| Reprise des déchets (0,625 m² — 0,250 m³ = 0,375 m³) et des terres pour chargement et transport en décharge : 0,375 m³ + 0,500 m³ = 0,875 m³, plus 1/4 pour foisonnement, soit 1,094 m³ à 2,50 fr.. . . . . | 2,73 — |
| Fourniture de sable pour bourrage des traverses : $1,00 \times 2,50 \times 0,20 = 0,500$ m³ à 6,50 fr . . . . . | 3,25 — |
| Reprise de cailloux criblés et répandage dans la forme : 0,250 m³ à 0,65 fr. . . . . | 0,16 — |
| Fourniture de pierre cassée et emmétrage avec reprise et répandage dans la forme : 0,625 m³ à 14,50 fr. . . . . | 9,06 — |
| Cylindrage y compris fourniture de matériaux d'agrégation : 2,50 m² à 0,80 fr. . . . . | 2,00 — |
| | 19,86 fr. |
| Somme à valoir pour surveillance, etc. : 10 p. 100. | 1,98 — |
| Prix par mètre courant de voie simple. . . . . | 21,84 fr. |

### 2° Chaussée pavée

| | |
|---|---|
| Démontage de la chaussée et rangement des pavés : 1 m² à 0,10 fr. . . . . | 0,10 fr. |
| Terrassements pour fouille, jet de pelle et règlement de la forme : 1 m² × 0,25 m. = 0, 250 m³ à 0,90 fr. . . . . | 0,23 — |
| Reprise, charge en tombereau et transport des déblais avec 1/5 pour foisonnement : 0,250 m³ + 0,050 m³ = 0,300 m³ à 0,60 fr.. . . . . | 0,18 — |
| Total. . . . . | 0,51 fr. |

Digitized by Google

| | |
|---|---|
| *Report*. . . . . | 0,51 fr. |
| Fourniture de cailloux de 0,02 m. à 0,06 m. de grosseur : 1 m² × 0,15 m. = 0,150 m³ à 7 fr. . . . . | 1,05 — |
| Répandage dans la forme : 0,150 m³ à 0,65 fr. . . . . | 0,10 — |
| Fourniture de sable pour forme, joints et couverture : 1 m² × 0,10 m. = 0,100 m³ à 6,50 fr. . . . . | 0,65 — |
| Fourniture de pavés 14/20/16 y compris transport : 32 p. à 400 fr. les 1 000 pavés . . . . . | 12,80 — |
| Pavage au sable avec plus-value de 0,30 fr. pour travail difficile dans l'embarras des voies : 1 m² à 1,10 fr. . . . . | 1,10 — |
| Total. . . . . | 16,21 fr. |
| Somme à valoir pour surveillance, etc. : 10 p. 100. | 1,62 — |
| Prix du mètre superficiel. . . . . | 17,83 fr. |
| Prix du mètre courant de voie simple . . | 44,58 fr. |

*N. B.* — Ces prix ne comprennent pas les raccordements avec la chaussée existante, qui portent, suivant les cas, sur 0,50 m. à 1 m. de largeur de chaque côté de la fouille à ouvrir pour la pose de la voie.

La dépense serait naturellement moindre si tout ou partie des matériaux de la chaussée existante était susceptible de réemploi. Dans cette hypothèse, le prix des travaux de terrassements et de viabilité pourrait se réduire à 12 ou 15 fr. pour la chaussée empierrée et à 15 ou 20 fr. pour la chaussée pavée, en supposant qu'une proportion variant entre les 6/7 et les 4/5 des anciens pavés puisse être réemployée.

Par contre, l'établissement d'une fondation en béton augmente notablement le prix du pavage.

L'évaluation donnée ci-dessous comme exemple se rapporte à l'établissement d'une voie Broca dans une chaussée pavée en grès (département de la Seine, hors Paris) et comprend notamment : l'établissement et la réfection du pavage dans l'entre-rail et sur une zone de 0,50 m. de part et d'autre de la voie, ainsi que les raccordements sur une largeur complémentaire de 1 m. de chaque côté; la fourniture de 1/7 de pavés neufs; une couche de fondation en béton de ciment (au dosage de 0,800 m³. de cailloux et 0,400 m³. de sable pour 100 kg. de ciment Portland), de 0,15 m. d'épaisseur sur 2,50 m. de largeur.

Digitized by Google

DÉTAIL POUR 1 M. DE LONGUEUR DE VOIE SIMPLE

| | |
|---|---|
| Arrachage de pavés : 4,50 m² à 0,10 fr. . . . . | 0,45 fr. |
| Décrottage des pavés arrachés : 4,50 m² à 0,10 fr. . . . . | 0,45 — |
| Transport des pavés à un relai de brouette : 152 p. à 3,30 fr. les 1 000 pavés. . . . . | 0,50 — |
| Empilage provisoire de pavés vieux : 152 p. à 2,50 fr. les 1000 pavés. . . . . | 0,38 — |
| Fouille de terres : 1,00 × 2,50 × 0,20 = 0,500 m³ à 0,50 fr. | 0,25 — |
| Chargement et transport aux décharges : 0,500 m³ + 0,150 m³ = 0,650 m³ à 2,50 fr. . . . . | 1,62 — |
| Dressement de la forme : 2,50 m² à 0,10 fr. . . . . | 0,25 — |
| Fondation en béton de ciment de Portland de 0,15 m. d'épaisseur : 2,50 m² à 3 fr. . . . . | 7,50 — |
| Triage de pavés vieux : 152 p. à 2,50 fr. les 1 000 pavés. . . | 0,38 — |
| Transport de pavés vieux aux dépôts : 30 p. à 24 fr. les 1 000 pavés . . . . . | 0,72 — |
| Fourniture de pavés 14/20/16 : 30 p. à 400 fr. les 1 000 pavés. | 12,00 — |
| Fourniture de sable de rivière : 0,570 m³ à 6,50 fr. . . . . | 3,70 — |
| Pavage neuf relevé à bout : 4,50 m² à 0,70 fr. . . . . | 3,15 — |
| Plus-value pour pavage dans les voies de tramways : 2,50 m² à 0,30 fr. . . . . | 0,75 — |
| | 32,10 fr. |
| Somme à valoir pour surveillance, etc. : 10 p. 100. | 3,20 — |
| Prix par mètre courant de voie . . . . . | 35,30 fr. |

Les compagnies de tramways sont souvent astreintes à refaire la chaussée sur 0,70 m. de part et d'autre de la voie, au lieu de 0,50 m., ce qui augmente d'autant le prix de revient.

Toutes les évaluations précédentes s'appliquent à la voie unique. Dans les parties en double voie, le prix par mètre courant varie avec l'espacement des rails intérieurs, mais il est généralement inférieur au double du prix de la simple voie. En effet, l'entre-voie doit être réglée de manière à ce qu'il y ait au moins 0,50 m. d'intervalle entre 2 voitures qui se croisent, ce qui, avec les gabarits usuels, conduit à lui donner de 1,00 m. à 1,20 m. de largeur ; la zone dont la réfection incombe à la compagnie de tramways, comprenant cette entre-voie, les deux voies, une bande de 0,50 m. de part et d'autre des voies, et une largeur complémentaire de 1 m. de chaque côté pour les raccordements, n'est alors que de 7 m. environ, au lieu de 9 m. On est cependant parfois amené à écarter

Digitized by Google

davantage les voies : par exemple, dans le cas où l'on dispose entre les deux voies des refuges avec poteaux consoles ou candélabres électriques. Le prix de revient par mètre courant se rapproche alors du double de celui de la voie simple et peut même lui devenir supérieur.

L'établissement des voies de tramways nécessite souvent des rescindements et des réfections de trottoirs, qui augmentent encore le prix de revient.

Dans les grandes villes, les dépenses de réfection de chaussée entraînées par la pose des voies de tramways peuvent atteindre des chiffres considérables; il en est ainsi notamment à Paris, où les ingénieurs du service municipal exigent en général la réfection intégrale de la chaussée entre bordures. Les prix à admettre varient alors dans de larges proportions suivant la largeur et la condition de la chaussée.

En prenant une des hypothèses les plus économiques, celle d'une double voie sur fondation en béton de 5,50 m. de largeur (1,50 m. pour chacune des 2 voies, 1,10 m. pour l'entre-voie et 2 zones de 0,70 m. de chaque côté), et considérant une chaussée pavée en grès de 10 m. de largeur, à refaire entièrement, la dépense par mètre courant de double voie peut être évaluée, pour Paris, à 55 ou 60 fr. par mètre courant, non compris la fourniture des pavés neufs. En ajoutant 1/5 de pavés neufs, on arriverait à un total de 80 fr. à 85 fr., susceptible d'être réduit à 70 fr. si la proportion de pavés bons pour réemploi était plus grande.

Dans les chaussées pavées en bois, la dépense est encore supérieure et peut atteindre 150 fr. par mètre courant de double voie, non compris les réfections de canalisations d'eau, de gaz, égouts, plantations, etc.

Sans pousser jusqu'à ces cas extrêmes, on voit qu'en général et surtout à l'intérieur des villes, la dépense de fourniture et de pose de la voie proprement dite est loin de former l'élément prépondérant de la dépense totale d'établissement d'une voie de tramway. Par suite, les différences relativement minimes qui existent entre les prix des divers types de voie ne peuvent constituer une base rationnelle de comparaison entre ces types, d'autant plus qu'il y a dans tout système de voie un élément qui ne varie guère, si l'on

Digitized by Google

considère, bien entendu, des voies d'égale résistance : c'est le poids des rails.

On peut dire, en somme, que, quel que soit le cas d'espèce considéré, toute voie de tramway, construite de manière à satisfaire à des conditions de trafic déterminées, comporte trois éléments de dépense irréductibles : la plate-forme, le pavage et les rails, qui ne constituent jamais moins des 3/4 de la dépense; la fraction restante, qui représente le prix des supports spéciaux à chaque système, peut même se réduire à zéro quand les voies sont posées directement sur la fondation.

---

Digitized by Google

Digitized by Google

# MATÉRIEL ROULANT

Digitized by Google

Digitized by Google

# CHAPITRE IV

## ADAPTATION DES MOTEURS ÉLECTRIQUES A LA TRACTION SUR LES VOIES FERRÉES[1]

**Position, puissance et nombre des moteurs sur une automobile.** — Dans les premiers essais de traction électrique, où l'on utilisait le matériel existant, il était assez difficile de trouver un emplacement convenable pour le moteur, et le plus simple, dans bien des cas, était de le mettre à l'intérieur de la voiture, en transmettant le mouvement aux essieux par des courroies ou des chaînes. Le poids et l'encombrement de ces appareils ont fait aujourd'hui adopter universellement la solution beaucoup plus rationnelle qui consiste à munir la voiture d'un truck spécial portant les moteurs ; ceux-ci restent ainsi indépendants de la caisse, mais on est forcé d'en limiter d'une manière stricte les dimensions.

Le nombre et la puissance des moteurs à adapter à une automobile sont très variables suivant les circonstances. S'il s'agissait seulement de remplacer dans une voiture existante l'effort des chevaux par celui d'un moteur, une puissance de 5 à 6 chev. pourrait suffire dans bien des cas[2]; mais les exigences croissent avec l'adoption de la traction électrique et, pour que celle-ci réalise tous ses avantages, elle doit permettre de franchir des rampes plus fortes à une allure plus rapide et de regagner plus vite l'allure normale après les arrêts. Cette dernière condition est celle qui rend

[1] Dans tout ce chapitre, nous ne considérons que le cas des voitures automobiles pour tramways et pour chemins de fer, et nous laissons de côté le cas spécial des locomotives, qui fait plus loin l'objet d'un chapitre séparé (chap. VII).

[2] Stevenson a trouvé qu'un fort cheval peut développer momentanément un travail de près de 6 chev. sur un dynamomètre et que probablement les chevaux de tramways développent au maximum 4 chev. D'après Morin, un travail de 5 chev., s'il est prolongé, surmène un cheval.



Digitized by Google

particulièrement désirable l'adoption de moteurs très puissants[1].

La puissance nécessaire dépend du type de voiture à mouvoir, de l'inclinaison des rampes de la ligne, de la vitesse de démarrage qu'on désire et enfin de l'organisation pratique du service. Si toutes les voitures sont automobiles, leur équipement en moteurs se réduit au minimum; si au contraire un certain nombre d'automobiles sont appelées à remorquer d'autres voitures, elles doivent posséder une puissance surabondante, proportionnée à l'effort maximum qu'elles auront ainsi à développer.

Pour chaque ligne, on doit calculer spécialement la puissance motrice nécessaire en chaque point du parcours, à la vitesse prévue, d'après les indications détaillées données plus loin; on sera ainsi fixé exactement sur les types de moteurs à choisir.

En pratique, l'équipement d'une voiture de tramway à quatre roues comporte au minimum un moteur de 15 chev. et au maximum deux moteurs de 25 chev., c'est-à-dire 50 chev.[2]. Ce dernier chiffre n'est dépassé et on n'atteint 60 chev. ou davantage que sur les lignes suburbaines qui tiennent plus du chemin de fer d'intérêt local que du tramway. Sur les chemins de fer proprement dits, les moteurs généralement employés sont de 50, 100 ou 200 chev. nominaux.

En ce qui concerne les voitures de tramways, et dans les limites de 10 à 30 chev., on doit se demander s'il vaut mieux, à égale puissance totale, employer un ou deux moteurs.

Tant que les rampes ne dépassent pas 0,03, un seul essieu moteur assure une adhérence et une puissance suffisantes.

On a fait valoir, il est vrai, en faveur de l'emploi de deux moteurs l'avantage qu'il a de fournir une ressource en cas d'accident à l'un d'eux; en mettant hors circuit le moteur avarié, l'autre

[1] Les démarrages demandent un travail momentané trois ou quatre fois supérieur au travail normal. Si l'on tient compte en outre de ce que le rendement des moteurs ordinaires ne dépasse pas 40 à 50 p. 100, on conçoit qu'on arrive à des chiffres de puissance très élevés.

Les premiers moteurs Sprague de Richmond étaient de 7, 5 chevaux seulement; mais l'expérience montra immédiatement la nécessité de porter cette puissance à 15 chevaux.

[2] Nous parlons ici de la puissance *effective*, car les puissances nominales indiquées par les constructeurs se rapportent souvent à des vitesses trop élevées. En particulier, les moteurs américains dits de 25 chevaux n'en développent le plus souvent que 15 à 20 sur nos lignes européennes, et ceux de 30 que 20 à 25.

Digitized by Google

doit théoriquement permettre de regagner la station, en reconduisant son camarade à l'hôpital, comme disent pittoresquement les Américains. Mais, pratiquement, cela a peu d'importance : car, en cas d'avarie, le mécanicien peut toujours attendre la voiture suivante pour se faire pousser par elle.

Le système des deux moteurs présente seulement deux avantages sérieux. Il permet de loger dans le truck une puissance en général plus grande qu'avec un seul moteur ; c'est pourquoi il est le seul possible au delà de 30 chev. En second lieu, il donne sur les rampes l'adhérence maxima, puisque les deux essieux sont moteurs, et assure la vitesse de démarrage maxima.

Mais il a bien aussi ses inconvénients : à puissance égale, deux petits moteurs sont plus lourds et plus chers qu'un seul gros ; les frais d'entretien aussi sont presque doublés, les connexions sont plus compliquées. D'autre part, comme on le verra plus loin, l'effort de traction total exercé par deux essieux moteurs indépendants est inférieur à la somme des efforts moteurs que chacun peut produire, par suite des glissements partiels de l'une ou l'autre des paires de roues ; cet effet est particulièrement important au démarrage. On verra aussi que, lorsque la charge est inégalement répartie, comme cela est toujours à craindre dans les voitures à faible empattement et à plates-formes en porte à faux très accusé, le courant se répartit entre les deux moteurs d'une manière fort inégale et l'un d'eux peut se trouver surchargé bien avant qu'on réalise l'effort de traction total sur lequel on pourrait théoriquement compter.

Pour tous ces motifs, l'équipement à un seul moteur a conservé des partisans ; ceux-ci ont perfectionné leur système en rendant les deux essieux solidaires et ils ont pu dès lors invoquer un nouvel avantage en leur faveur, celui de procurer, à dépense égale d'énergie, un effort de traction supérieur à celui de deux moteurs séparés. La seule difficulté, c'est de réaliser d'une manière pratique cet accouplement de deux essieux avec un moteur commun ; les dispositions mécaniques à employer sont assez délicates. On a eu recours successivement, soit à des accouplements par bielles (système Eickemeyer), soit à des chaînes [1] (système Siemens et Halske),

[1] L'accouplement des essieux dans le cas de deux moteurs est, en général, plus

Digitized by Google

105704

soit enfin à des engrenages coniques (systèmes Rae, Sperry, etc.). Ce dernier procédé, qui a joui d'une certaine faveur en Amérique, réaliserait, d'après ses promoteurs, un bénéfice de 11 p. 100 sur l'effort de traction par rapport au système à deux moteurs indépendants.

Tout compte fait, un équipement simple coûtera moins cher et devra être préféré toutes les fois qu'il permettra de réaliser une puissance suffisante pour les conditions prévues, ce qui est le cas dans bien des villes secondaires européennes. La maison Siemens et Halske, de Berlin, par exemple, construit depuis longtemps des tramways électriques avec deux essieux attaqués par un moteur unique et l'expérience de Budapest a montré que ce système satisfait pleinement aux conditions d'un service non intensif; aussi a-t-on continué à l'appliquer dans beaucoup d'installations allemandes plus récentes, à Bâle, à Mulhouse, etc. Dans les villes de cette importance, présentant de faibles déclivités, 10 à 20 chev. concentrés en un seul moteur par voiture suffisent très bien. Au point de vue de la transmission du mouvement, l'emploi d'un seul essieu moteur nous paraît d'ailleurs préférable.

Lorsque, par suite des déclivités, la puissance nécessaire dépasse 30 chevaux ou qu'on veut des démarrages très rapides, on adopte deux moteurs de 15 à 25 chevaux.

Dans les grandes villes à circulation très active, telles que Paris, Lyon, Le Havre, etc., cet équipement peut même devenir insuffisant, si l'on admet le remorquage de plusieurs voitures; c'est en vue de ces services par trains de 2 ou 3 voitures au moins, dont une seule motrice, que les Américains ont adopté les équipements à deux unités de 25 ou de 30 chev. Lorsqu'il est autorisé administrativement, ce système présente de sérieux avantages pour la société exploitante, en ce qu'il permet à celle-ci de réduire au minimum le nombre de ses voitures automobiles et d'utiliser comme voitures remorquées son ancien matériel ou des voitures neuves peu coûteuses. En outre, si, les dimanches et jours de fête, la circulation dépasse de beaucoup la capacité des voitures en marche pendant la semaine, le système des voitures d'attelage est

difficile à cause de leur plus grand écartement; il a cependant été essayé avec des chaînes sur une ligne américaine, mais cet exemple n'a pas été suivi.

Digitized by Google

le seul qui permette de satisfaire économiquement aux exigences de ce service exceptionnel.

Il en est de même pour les tramways de banlieue à circulation active, sur lesquelles il y a tout intérêt à réaliser de véritables trains, où les voitures automobiles jouent le rôle de locomotives et doivent avoir par conséquent une puissance très supérieure à ce qu'elles exigeraient en marche isolée.

Sur certaines lignes importantes, on a été conduit à donner aux voitures une très grande longueur et à les placer sur deux trucks pivotants ou bogies; c'est le cas de nombreux tramways et de tous les chemins de fer électriques américains; c'est aussi, en Europe, celui des lignes de Bessbrook-Newry, Douglas-Laxey, Pierrefitte, etc., qui sont de véritables chemins de fer. Dans ces conditions, il va sans dire que l'équipement à un seul moteur devient insuffisant et impossible. On a alors le choix entre deux solutions, suivant qu'on admet deux ou quatre moteurs, c'est-à-dire un ou deux par bogie. C'est la première qui est ordinairement adoptée sur les tramways proprement dits; on s'efforce alors de reporter la plus grande partie du poids adhérent sur l'un des deux essieux de chaque bogie ou on accouple les deux essieux par bielles, ce qui est assez facile vu leur faible écartement.

Sur les chemins de fer, on peut accepter l'emploi de quatre moteurs, mais il n'y a plus alors de règle générale à formuler pour le choix de la puissance des automobiles, qui devient une question d'espèce. La tendance générale des constructeurs est, du reste, de réduire le nombre de leurs types de moteurs, et de prendre 2 ou 4, voire même 8, unités semblables, suivant les dimensions des voitures et les rampes à franchir.

Ce procédé est très commode en ce qu'il simplifie la construction, permet de rendre tous les essieux moteurs et de loger facilement de grandes puissances; mais il présente, par contre et à un plus haut degré, l'inconvénient déjà signalé plus haut pour deux moteurs, de compliquer l'entretien et de le rendre dispendieux.

Lorsque la puissance d'une voiture dépasse 200 chevaux, on peut la considérer comme une véritable locomotive, ainsi qu'on le verra plus loin.

Digitized by Google

**Nécessité d'une transmission de mouvement entre le moteur et l'essieu d'une automobile.** — Dans les locomotives mécaniques à vapeur ou à air comprimé, l'effort moteur du piston est transmis à l'essieu par l'intermédiaire d'une bielle qui transforme le mouvement rectiligne en mouvement circulaire.

Avec les moteurs électriques, dont l'arbre est animé d'un mouvement de rotation uniforme, rien n'exige plus une semblable transformation et la solution la plus simple est de donner pour arbre au moteur l'essieu même qu'il doit commander, en calant l'induit sur cet essieu. C'est ce qu'on a pu réaliser sur les locomotives ou les voitures automotrices de certains chemins de fer électriques urbains, tels que le « City and South London Railway », le « Liverpool Overhead Railway », et sur plusieurs des locomotives électriques essayées sur les grandes lignes en Europe et en Amérique. On l'a tenté également pour les voitures de tramways sur plusieurs réseaux américains, et les moteurs à action directe (« gearless motors ») des types Westinghouse et Short, sur lesquels nous donnons plus loin quelques détails, ont eu un court moment de vogue. Mais il a bien fallu reconnaître, après expérience, que cette solution ne convient pas à la traction des tramways ordinaires et que pour ceux-ci le mouvement doit être transmis à l'essieu par un organe intermédiaire, sous peine d'avoir des moteurs d'un poids exagéré (1 200 à 1 500 kg. pour le moteur Short, au lieu de 800 kg. pour le moteur G. E. 800.)

Il est facile de s'en rendre compte en examinant les conditions du problème. La puissance nécessaire aux moteurs est assez faible : 15 à 25 chev. sont, comme on l'a vu plus haut, les chiffres courants. Or il suffit d'ouvrir un catalogue de fabricant pour voir que les vitesses de rotation ordinaires correspondantes ne descendent guère au-dessous de 1 000 à 600 tours par minute; ces vitesses sont celles qui permettent de réaliser ces puissances avec le plus faible poids et le meilleur rendement.

D'autre part, le nombre de tours d'un essieu d'automobile est déterminé par des considérations pratiques qui l'enserrent dans des limites assez étroites : la vitesse des voitures et le diamètre des roues. C'est pour mettre en harmonie ces nombres de tours différents qu'il faut nécessairement une transmission.

Digitized by Google

**Vitesse des véhicules.** — Elle était, avec la traction par chevaux, d'environ 8 à 9 km. à l'heure en moyenne dans l'intérieur des villes, et ne peut guère y dépasser 12 km. à l'heure sans danger pour les passants. C'est ce dernier chiffre qui, bien que souvent dépassé en fait, est généralement fixé comme limite par les arrêtés municipaux; celui de 10 km., qui a été imposé autrefois, est aujourd'hui trop faible pour un service de traction mécanique, étant donné que l'on impose d'autre part de ralentir aux croisements des voies transversales quand ils sont réputés dangereux. Dans les rues peu fréquentées et sur les boulevards extérieurs ou les routes de banlieue, on peut atteindre sans inconvénient 16 km., chiffre peu différent du maximum légal en France, qui est pour les tramways de 20 km. à l'heure [1]. Les arrêtés récents admettent 16 km. dans les faubourgs et 20 km. hors des murs [2].

Cette dernière vitesse est atteinte dans les rues mêmes de bien des villes en Amérique, et, sur les tramways suburbains, on y marche à 25 et 30 km : h., quelquefois même davantage.

Mais les accidents occasionnés, malgré l'emploi de freins puissants et d'appareils chasse-corps perfectionnés, par des voitures lancées à une vitesse aussi élevée sont trop nombreux et nuisent trop à la bonne réputation des tramways électriques pour qu'on admette volontiers en Europe des régimes semblables dans l'intérieur des villes.

Il y a cependant en Belgique et en Allemagne une tendance à accroître la vitesse des automobiles beaucoup plus qu'on ne l'a fait jusqu'ici en France. On admet à Bruxelles 15 km. en ville et 21 hors de la ville, 15 km. à Chemnitz, Halle, Essen, Budapest, 18 km. en certains points de cette dernière ville et 25 dans d'autres; 18 km. à l'intérieur de Dresde et 30 hors de la ville. Ces vitesses ont deux avantages : économie sur le nombre des voitures

[1] Article 21 du décret du 6 août 1881 sur l'établissement et l'exploitation des voies ferrées sur le sol des voies publiques.

[2] Arrêtés des 24 mai 1889 (Courbevoie à la Place de l'Etoile), 20 septembre 1890 (Place de l'Etoile à Saint-Germain), 4 septembre 1890 (Paris à Ville-Evrard et Nogent à Bry-sur-Marne), et tous ceux analogues qui les ont suivis.

Ces arrêtés font seulement la réserve nécessaire qu'aux croisements de voies réputés dangereux et au passage des barrières d'octrois, des ponts, etc., l'allure sera ralentie à la vitesse d'un homme au pas.

Au Havre, grâce à la largeur des avenues, on a pu admettre 20 km. : h.

Digitized by Google

et satisfaction des voyageurs. Mais elles ne sont possibles que dans des voies larges, droites, à faible circulation et surveillées par une police active qui fait trop souvent défaut chez nous. A Budapest, par exemple, des agents se trouvent partout sur les grandes voies chargés de régler le passage des voitures et de les faire ralentir aux croisements importants. Moyennant ces précautions, il est à espérer qu'on pourra atteindre en France des vitesses de 15, 20 et 25 km : h. dans les villes, les faubourgs et les parties *extra muros*, condition essentielle pour tirer le meilleur parti de la traction électrique.

Pour les lignes de chemins de fer, les vitesses sont égales ou supérieures à celles admises pour la traction à vapeur et limitées seulement par la puissance motrice nécessaire.

**Diamètre des roues.** — Ce diamètre constitue un facteur important pour fixer le nombre de tours de l'essieu. Pour augmenter ce nombre et le rapprocher de celui des moteurs, il y aurait tout avantage à prendre un diamètre aussi faible que possible ; mais l'espace disponible pour loger le moteur diminue d'autant et devient bientôt insuffisant. Il n'est guère possible par le fait de descendre au-dessous de 0,65 m. et les automobiles employées aujourd'hui couramment pour la traction électrique ont en général des roues de 0,75 à 0,85 m.

Le diamètre à adopter dépend du reste de la nature du trafic. Pour les voitures de tramways destinées à circuler à l'intérieur des villes, il y a intérêt à ce que le plancher soit aussi près du sol que possible, afin de faciliter l'entrée et la sortie des voyageurs; le diamètre de 0,80 m. est, dans ce cas, une limite qu'il vaut mieux ne pas dépasser. Au contraire, pour les tramways suburbains à grande vitesse et à arrêts peu fréquents et pour les chemins de fer, qui nécessitent l'emploi de moteurs plus gros et par suite plus difficiles à loger, on peut sans inconvénient porter le diamètre des roues à 0,90 m. ou 1 m., quitte à faciliter par une ou deux marches supplémentaires l'accès de la caisse ; sur les métropolitains, l'emploi de quais à la hauteur de la plate-forme permet *a fortiori* d'accroître le diamètre des roues autant qu'on peut le faire sans compromettre la stabilité des véhicules.

Admettons le chiffre minimum de 0,75 m. correspondant à

Digitized by Google

2,357 m. de circonférence ; le nombre de tours de l'essieu par minute sera :

| | | | |
|---|---|---|---|
| | 344 | à la vitesse de. . . . . | 50 km. |
| | 110 | — . . . . . | 16 — |
| et | 64 | — . . . . . | 9 — |

Si l'on compare ces chiffres à ceux donnés plus haut, on voit qu'ils s'écartent beaucoup de ceux des moteurs et qu'on ne pourrait faire tourner ces derniers à une vitesse aussi faible qu'en leur donnant un poids exagéré. Nous déterminerons plus loin la vitesse inférieure qui assure une bonne utilisation du moteur (p. 138).

**Réduction de vitesse.** — Tous les progrès réalisés dans la construction des moteurs depuis dix ans ont eu pour but de diminuer l'écart entre les deux vitesses précédentes en abaissant celle du moteur au minimum ; ils ont été retardés par les difficultés qu'on a rencontrées dans la construction des machines à marche lente.

Dans ce qui va suivre, nous appellerons *coefficient de réduction* de la transmission le rapport du nombre de tours de l'essieu à celui du moteur. Dans les tramways, ce rapport a varié de 1/20 à 1/4, suivant les systèmes; dans les chemins de fer, il varie entre 1/4 et 1 suivant la vitesse normale adoptée pour l'exploitation. Il est avantageux d'établir les moteurs de façon qu'ils puissent se prêter à des réductions différentes, qu'on choisira suivant les conditions particulières à chaque application (p. 139).

**Divers systèmes de transmission avec réduction de vitesse.** — Les qualités nécessaires à une bonne transmission sont la simplicité, la solidité, une grande résistance aux efforts brusques et à l'usure, un faible poids et un faible encombrement. Elle doit produire le moins de vibrations possible, avoir une marche silencieuse, être à l'épreuve de la poussière et de l'humidité, et réaliser un bon rendement, sans que l'achat et l'entretien en soient trop dispendieux. De nombreux essais ont été faits, un peu dans toutes les directions, avant d'arriver à la solution actuelle. Nous ne croyons pas inutile de les rappeler ici, ne fût-ce que pour éviter aux lecteurs de refaire des essais déjà exécutés par d'autres.

**Courroies ou cordes.** — Nous ne citons guère que pour mémoire la transmis-

Digitized by Google

sion par courroies, car elle n'a été employée qu'au cours des tâtonnements du début, à l'époque où, pour constituer une automobile, on plaçait un moteur quelconque sur une voiture quelconque. Pour relier l'arbre à l'essieu, qui s'en trouvait forcément très éloigné, il n'y avait guère d'autre moyen à employer. Raffard à Paris en 1881, Volk à Brighton en 1883, van Depoele ensuite en Amérique et, beaucoup plus récemment, M. Claret, aux premiers essais de Clermont-Ferrand, ont employé ce système. Mais il n'a plus évidemment aujourd'hui qu'un intérêt historique. Le principal inconvénient des courroies était le danger de rupture, qui a conduit à les remplacer par des chaînes.

Pendant plusieurs années, les voitures du tramway de Lichterfelde, construit par Siemens et Halske, ont été munies d'une curieuse transmission par cordes en acier, formées d'un fil d'acier de 4 mm. enroulé en spirale sur un mandrin de 3 mm. de diamètre. Sur l'arbre du moteur placé au centre de la voiture[1] et sur les essieux étaient calés des tambours munis de gorges en forme de V, sur lesquelles étaient tendues ces cordes d'acier, au nombre de 13 ou 14 pour chaque essieu. Il n'y avait qu'une simple réduction, mais les deux essieux étaient moteurs. Ce système, comme le précédent, fonctionnait bien en palier[2], avec un bon rendement et un silence parfait, mais les glissements le rendaient inapplicable dès que les rampes dépassaient 1 p. 100; c'est pourquoi la maison Siemens fut amenée à le remplacer bientôt par des chaînes.

On a proposé aussi sans succès des courroies métalliques, combinées avec des poulies à adhérence magnétique.

**Chaînes.** — Les chaînes ont eu un emploi plus durable et on les voit encore appliquées sur certaines lignes européennes. Comme les courroies, elles permettent de placer le moteur à volonté dans le truck ou hors du truck et à une distance quelconque des essieux sans liaison rigide avec ceux-ci; elles constituent à ce titre la meilleure ressource pour ceux qui ont à improviser un locomoteur sans matériel spécial.

De nombreuses applications en ont été faites de divers côtés, en particulier par Hopkinson sur la ligne Bessbrook-Newry et par van Depoele à Saint-Catherines (Ontario). Enfin la maison Siemens et Halske, qui avait adopté ce système à une époque où les autres ne valaient rien, l'a conservé et l'applique encore avec succès sur plusieurs lignes (Budapest, Bâle, Mulhouse, etc.), en l'adaptant à un matériel spécialement étudié dont nous parlerons plus loin.

L'emploi des chaînes n'est pas aussi facile qu'on pourrait le croire, car elles sont soumise à un très rude service. Le type Galle ne peut être utilisé parce que la portée des barreaux plats est trop faible relativement aux efforts à transmettre et qu'ils coupent rapidement les tiges. Les chaînes de bicyclette essayées à Bessbrook n'ont pas donné de bons résultats, parce que les tubes fous qui entourent les tubes principaux se brisent bientôt et que les autres s'usent alors rapidement; M. Hillairet, qui a employé plus récemment une transmission mixte par chaînes et engrenages pour le locomoteur de la Béraudière, a reconnu la nécessité de recourir aux chaînes à maillons pleins découpés de façon que le sens de la traction soit celui du laminage[3]. On ne doit pas oublier en effet

[1] Voir la fig. 3, p. 5.

[2] La ligne de Lichterfelde est complètement en palier.

[3] *Bulletin de la Société Internationale des Electriciens*, 1895, p. 113.

Digitized by Google

que les efforts auxquels la chaine est soumise au démarrage sont très supérieurs aux efforts normaux et qu'ils sont appliqués d'une manière brusque; il est bon par conséquent de réduire à une très faible valeur le coefficient de travail du métal, $\frac{1}{20}$ à $\frac{1}{30}$. Même avec ces précautions, il est difficile d'empêcher l'allongement progressif de la chaine et le ferraillement qui en résulte. On doit prévoir cet allongement et ses conséquences, et se réserver la possibilité de resserrer la chaine, soit au moyen d'un tendeur, soit en supprimant un maillon.

Le meilleur type, et celui qui a été le mieux éprouvé, est en définitive la chaine en acier de Reynolds, employée depuis longtemps sur les lignes de Bessbrook-Newry et de Budapest, et dont le mode de construction est indiqué par la figure 72. Les maillons extérieurs sont formés de barres méplates, dans lesquelles sont soigneusement rivées et clavetées deux tiges pleines, et les maillons intérieurs de barres méplates rivées et clavetées de même sur les deux tubes qui embrassent les tiges. L'acier employé a une résistance à la rupture de 78 kg. par mm². Les constantes sont les suivantes :

| | |
|---|---|
| Pas de la chaine. . . . . | 54 mm. |
| Poids par mètre. . . . . | 12,6 kg. |
| Résistance des tiges au cisaillement. . . . . | 14000 kg. |
| — des barres extérieures . . . . . | 10000 — |
| — — intérieures . . . . . | 15000 — |

Une chaine de ce genre expérimentée à Bessbrook transmettait 27 chev. à la vitesse tangentielle de 7,30 m. par seconde, la roue motrice n'ayant que 152 mm. de diamètre et tournant à la vitesse de 100 tours par minute.

A La Béraudière, la chaine pèse 17 kg. par mètre, et rompt sous un effort de 30 t.

Les chaines permettent des coefficients de réduction de 1/5 à 1/6. Les noix ne doivent pas être trop petites; 150 à 160 mm. de diamètre sont un minimum pour le cercle primitif. D'autre part, il faut entre ces noix un certain espacement, qui ne doit pas descendre au-dessous de 1 m. à 1,50 m. dans une voiture de tramway.

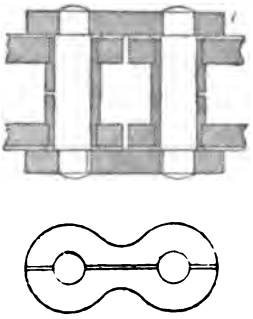


Fig. 72. — Mode de construction de la chaine Reynolds.

Pour obtenir un bon rendement d'une transmission par chaines et en réduire le bruit et l'usure, il est à recommander de l'enfermer tout entière dans une boite étanche, où la chaine barbote dans l'huile. Le rendement peut être alors de 90 p. 100 au moins, si la chaine est bien faite.

A Budapest, les chaines ont été employées d'abord en double réduction, avec deux chaines successives et un arbre intermédiaire; puis, plus récemment, en simple réduction. Dans ce dernier dispositif, seul recommandable aujourd'hui, et représenté par la figure 73, un moteur unique est placé au centre du truck, auquel il est relié rigidement, et son arbre est muni de deux pignons, qui commandent chacun, par une chaine spéciale, l'un des essieux. Ces chaines fonctionnent bien, ont un assez bon rendement et une marche silencieuse; elles sont

Digitized by Google

acceptables tant qu'il ne s'agit que de voitures à vitesse modérée et à faible capacité (30 à 35 places).

La maison Siemens et Halske a fait plus récemment, à Bâle et à Mulhouse. une nouvelle application de ce mode de transmission. Les avantages qu'elle y trouve sont l'emploi d'un seul moteur par voiture et la solidarisation facile des essieux. On peut d'ailleurs, avec des moteurs à engrenages, ajouter des

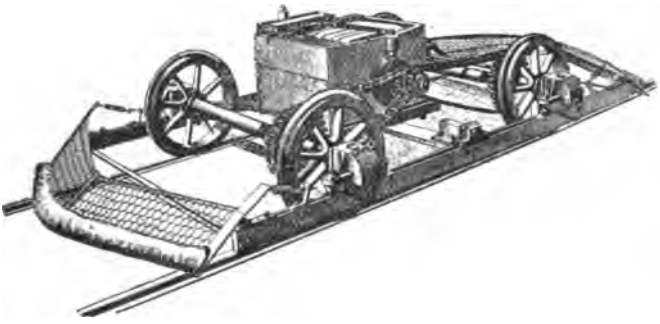


Fig. 73. — Transmission par chaînes du moteur de Budapest (anciennes voitures).

chaînes pour solidariser les deux essieux d'une même voiture ou ceux d'un truck pivotant, ou bogie, à un seul moteur ; ce dispositif a été employé en particulier à Portland (Oregon).

**Rouleaux de friction.** — Ceux-ci ont été expérimentés à diverses reprises.

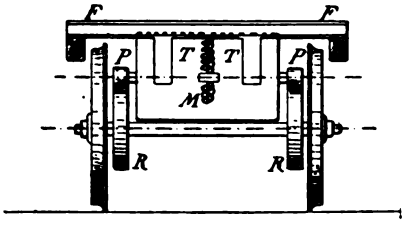



Fig. 74. — Transmission par rouleaux de friction.
M, moteur. — T,T, glissières. — P et R, rouleaux. F, traverse de suspension du truck.

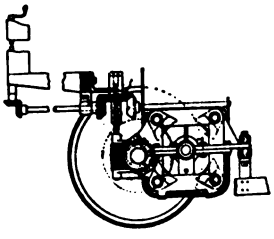


Fig. 75. — Dispositif de M. Mailloux.

mais sans succès. Le croquis (fig. 74) montre comment ce dispositif pourrait être appliqué aussi simplement que possible : on calerait sur l'essieu une poulie R de diamètre $d$, forcément plus petit que celui D des roues, et cette poulie serait attaquée par un manchon de friction P fixé à l'arbre moteur.

Pour que la voiture soit entraînée, il faut que le frottement des manchons P sur les poulies R crée une force tangentielle supérieure à l'effort de traction augmenté dans le rapport $\frac{D}{d}$. Soient $p$ la pression normale correspondante et $P$ la charge sur l'essieu. On doit avoir, en appelant $\varphi$ l'angle de frottement et $f$ le coefficient de traction,

Digitized by Google

$$p \operatorname{tg} \varphi > \frac{D}{d} Pf$$

ou

$$\frac{p}{P} \frac{\operatorname{tg} \varphi}{f} > \frac{D}{d}$$

et *a fortiori*

$$\frac{p}{P} \frac{\operatorname{tg} \varphi}{f} > 1.$$

Au démarrage, $f$ est voisin du coefficient de glissement d'acier sur acier, c'est-à-dire 0,10, tandis que tg $\varphi$ ne peut guère dépasser 0,30 à 0,40. On devrait avoir ainsi

$$p = 1/2 \text{ à } 1/4\ P.$$

Il faudrait donc augmenter à l'excès le poids des moteurs et la hauteur du truck. Ce dispositif soumettrait d'ailleurs la voie à des chocs trop violents.

Si on place l'arbre moteur dans le plan horizontal de l'essieu (fig. 75), on évite cet inconvénient, mais il devient alors difficile de réaliser la pression $p$ suffisante. Dans les deux cas, on a à craindre des glissements et une usure rapide des surfaces frottantes.

Les essais très complets, exécutés sur la ligne de telphérage de Glynde par Fleeming Jenkins, ont montré qu'il n'y avait rien à espérer de bon dans cette voie. Néanmoins, plusieurs inventeurs américains ont cherché aussi sans succès à appliquer aux tramways ce mode de transmission; la figure 75 représente par exemple un dispositif essayé par M. Mailloux : une boite excentrique commandée à l'aide d'engrenages par un levier placé sur la plate-forme, permettait de soulever le moteur légèrement pour désembrayer les rouleaux de friction pendant les arrêts, tout en laissant tourner le moteur à vide.

**Vis sans fin.** — L'emploi d'une vis sans fin, placée sur l'arbre du moteur et attaquant une roue dentée appropriée calée sur l'essieu, constitue la solution la plus séduisante du problème de la simple réduction ; il donne en effet le moyen de réaliser d'un seul coup une réduction de $\frac{1}{8}$ à $\frac{1}{20}$, qui permet l'application de moteurs à grande vitesse et par suite très légers. La transmission est douce, régulière et absolument silencieuse; les démarrages se font sans à-coup.

Toutes ces qualités eussent assuré certainement à la vis sans fin une honorable carrière dans la traction électrique, au moins à l'origine de celle-ci, si l'on n'avait été arrêté par les idées classiques sur la faible efficacité de cet organe, auquel les auteurs les plus connus n'attribuent pas plus de 50 p. 100 de rendement [1]. Il est donc nécessaire de montrer tout d'abord que c'était là un préjugé erroné.

La formule du rendement de la vis est, comme on le sait,

$$y = \frac{\cos \theta}{\cos (\theta - \varphi)} = \frac{1 - \frac{p}{2\pi r} f}{1 + \frac{p}{2\pi r} f},$$

où $\theta$ est l'angle du filet de la vis, $\varphi$ l'angle d'appui des deux surfaces métal-

[1] Reuleaux (3e édit. française, p. 564).

Digitized by Google

liques en contact, $p$ le pas de vis, $r$ son rayon primitif et $f$ le coefficient de frottement.

Celui-ci n'est qu'un coefficient expérimental, assez mal déterminé. Ce sont les valeurs élevées, 0,10 à 0,20, qu'on lui attribuait autrefois qui conduisaient à un rendement si déplorable; mais la même formule peut accuser d'excellents résultats, comme l'a signalé pour la première fois *Reckenzaun* [1], si l'on tient compte des recherches de Thurston, Kimball et Beauchamp-Tower, qui ont complètement modifié nos connaissances sur le frottement des surfaces lubrifiées. Ces savants ont montré que le coefficient $f$ *varie avec la vitesse* et qu'il peut descendre au-dessous de 0,003 dans des conditions favorables. Même avec des surfaces médiocrement lubrifiées, il est facile de le réduire à 0,01 et, avec ce chiffre, la formule ci-dessus peut donner $n = 0,85$ à $0,95$. Elle indique en même temps que le rendement est maximum pour $\theta = 45°$ [2]. Ces conclusions sont vérifiées par des expériences de Sellers [3], dont quelques résultats sont consignés au tableau suivant; celles-ci montrent en outre qu'il y a avantage à multiplier le nombre des filets en prise.

| ANGLE DE L'HÉLICE avec l'axe de rotation de la vis | NOMBRE de filets en prise | NOMBRE de tours par minute | RENDEMENT EN P. 100 |
|---|---|---|---|
| 5° | 1 | 200 | 75 |
| 10 | 1 | 200 | 86 |
| 15 | 2 | 200 | 90 |
| 20 | 3 | 200 | 92 |
| 30 | 4 | 200 | 95 |
| 45 | 5 | 200 | 96,5 |

L'influence de la vitesse est représentée par la courbe de la figure 76. Des expériences plus récentes [4] du professeur A. Stodola, de Zurich, bien qu'un peu moins favorables, conduisent néanmoins à des conclusions analogues. Ces mesures ont été effectuées à l'aide d'un moteur électrique de 20 chev. de la société d'Oerlikon, muni de vis sans fin à double pas; la vis, de 80 mm. de diamètre et de 83,776 mm. de pas, attaquait une roue dentée en bronze de 373 mm. de diamètre, enfermée avec elle dans une boîte à huile; le travail était mesuré au frein de Prony. Les chiffres obtenus dans diverses conditions de pression et de vitesse sont résumés par les courbes de la figure 77, et l'on voit qu'à la vitesse

[1] *Inst. of Electrical Engineers*, 20 septembre 1887. — *Electric Traction*. London 1892, p. 139, etc.

[2] On trouve en effet par différenciation

$$\frac{dy}{d\theta} = \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}$$

qui se réduit sensiblement à $\frac{\pi}{4}$ parce que $\varphi$ peut être rendu très petit.

[3] *Engineering*, 1886, t. XLII, p. 285, 363 et 581.

[4] *Schweizerische Bauzeitung*, 28 juillet 1895. — Voir aussi Kolben, *E. T. Z.* 15 août 1895, p. 516.

Digitized by Google

de 15000 tours, avec 762 kg. de pression sur les dents, le rendement a atteint 87 p. 100. Il est fâcheux que les formes des trois courbes présentent des allures trop différentes pour qu'on puisse en déduire facilement la loi de variation générale.

Il faut en définitive admettre aujourd'hui qu'on peut réaliser, avec des vis sans fin bien faites, des rendements de 85 à 90 p. 100 à pleine charge.

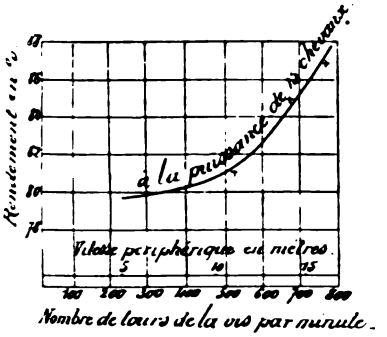



Fig. 76. — Rendement d'une vis sans fin, à différentes vitesses, d'après les expériences de Sellers.

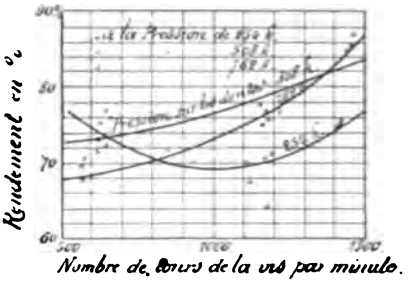



Fig. 77. — Rendement d'une vis sans fin, à différentes vitesses, d'après A. Stodola.

Les conditions à remplir dans ce but sont les suivantes :

1° *Vitesses périphériques élevées :* 6 à 12 m. par seconde au lieu des 0,5 à 2 m. adoptés jusqu'ici ; ces vitesses impliquent l'emploi de vis de gros diamètre,

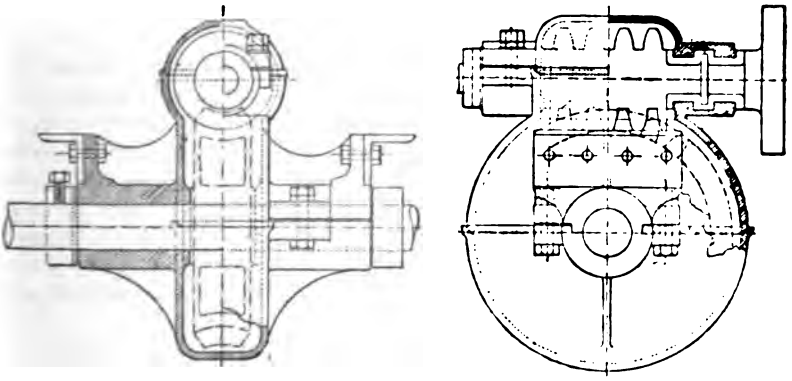


Fig. 78 et 79. — Elévation et coupe de la transmission par vis de Reckenzaun.

avec des dents robustes présentant de larges surfaces de contact qui réduisent à une faible valeur la pression par cm².

2° *Choix des métaux donnant le moindre coefficient de frottement :* vis en acier poli et roue en bronze poli, d'une exécution très soignée, avec dents taillées par une fraise spéciale ; lubrification parfaite des surfaces. Le coefficient de frottement peut être alors 0,01 à 0,05 et l'usure devient à peu près négligeable.

Digitized by Google

Les figures 78 et 79 représentent une transmission par vis construite d'après ces principes par Reckenzaun. La vis en acier à triple filet a 152 mm. de diamètre ; le pas est aussi de 152 mm. et par suite l'angle de 45°. La roue dentée, en bronze phosphoreux, munie de 24 dents, a pour diamètre 386 mm. La réduction est de $\frac{1}{8}$. Toutes les surfaces sont soigneusement taillées et polies. Avec cet appareil bien lubrifié, Reckenzaun a obtenu des rendements atteignant 85 à 95 p. 100, sous des charges de 1 à 2 chev.

Les vis sans fin permettent d'attaquer, soit un seul essieu, soit deux essieux, par un seul moteur. Dans le premier cas, la disposition employée est analogue à celle des figures 80 et 81 relatives à un moteur à vis sans fin d'Oerlikon construit pour le tramway électrique de Marseille [1]. On peut atteler un de ces ensembles à chacun des deux essieux d'une voiture. Un véhicule d'essai ainsi équipé (fig. 82) a été construit sur les plans de Reckenzaun par MM. Greenwood et Batley, de

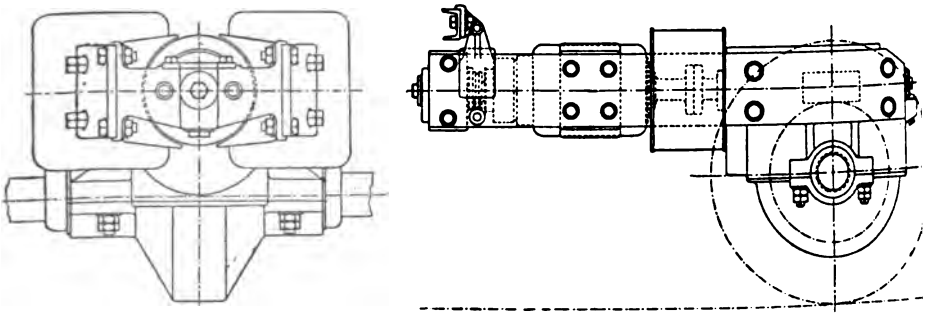


Fig. 80 et 81. — Transmission par vis sans fin des ateliers d'Oerlikon.

Leeds : deux moteurs de 10 chev. chacun, tournant à 800 tours, et leurs engrenages sont assemblés d'une manière rigide avec le truck, qui est suspendu sur les essieux ; les vis et les roues dentées sont soigneusement enfermées dans des enveloppes en fonte étanches, où elles barbotent dans l'huile. Le poids des deux moteurs, avec les transmissions et les pièces d'assemblage, est de 1200 kg. environ. Le rendement constaté aux essais effectuées par M. Dawson a été de 70 à 73 p. 100 pour l'ensemble du moteur et de la transmission, ce qui correspondait à 84 ou 88 p. 100 pour la transmission ; il eût été encore plus élevé si les vis n'eussent été assez imparfaitement taillées et l'on pourrait admettre 90 p. 100 comme chiffre réalisable en pratique.

On peut aussi disposer un seul moteur au centre du truck, de manière à lui faire attaquer par deux vis sans fin égales les deux essieux, comme le montre la figure 83.

Dans tous les cas, les transmissions par vis doivent être établies avec des précautions spéciales qu'il est bon d'indiquer.

1° Elles doivent présenter un pas assez allongé pour pouvoir être menées par la roue dentée, de façon que la suppression du courant aux descentes ou aux

[1] D'après un intéressant article de M. Kolben dans l'*Elektrotechnische Zeitschrift*, 19 août 1892, auquel nous empruntons encore plus loin quelques figures.

Digitized by Google

ralentissements n'entraine pas l'arrêt de la voiture, comme cela aurait lieu

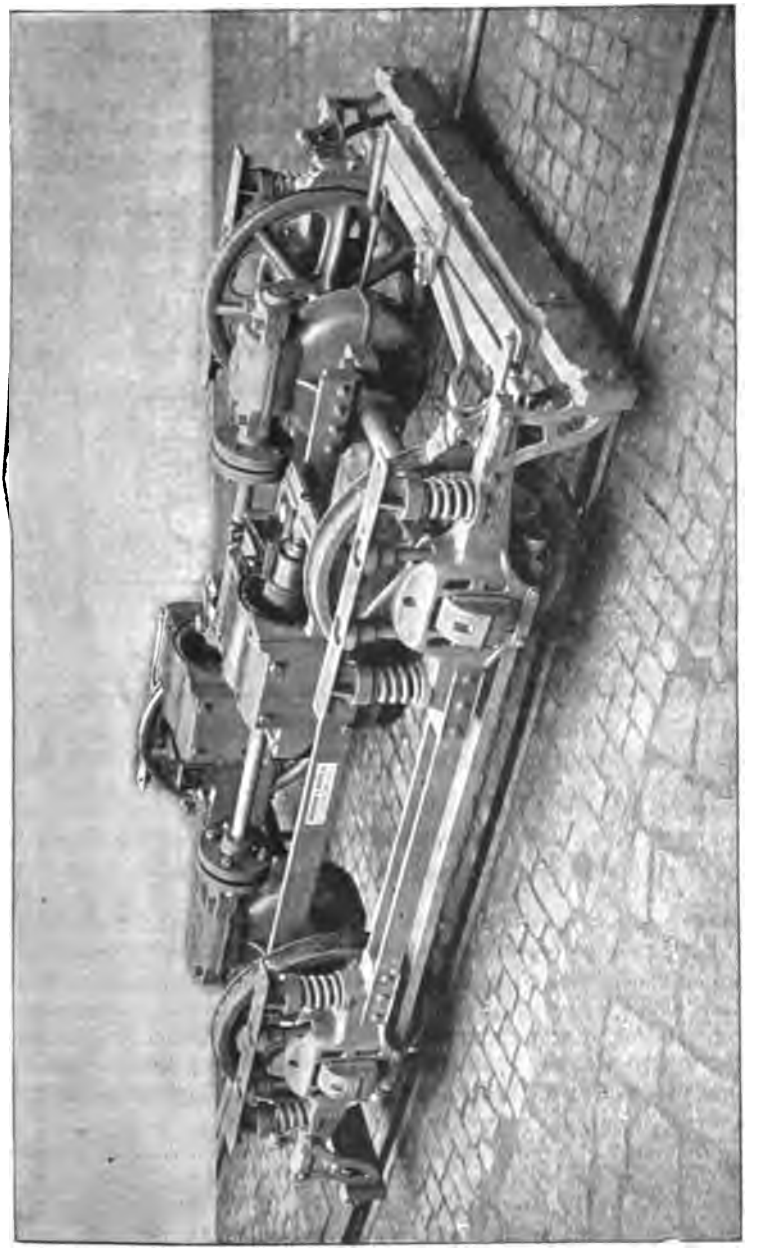


Fig. 82. — Truck à deux moteurs et vis sans fin de Greenwood et Batley.

avec les vis ordinaires, qui, pour ce motif, sont inapplicables. Cette condition de réversibilité est toujours remplie dans le cas des filets à 45° que l'on suppose



Digitized by Google

adoptés ici. Une semblable vis peut servir aux descentes à exercer, si on le veut, un freinage aussi énergique que les engrenages (en fermant le moteur en court circuit); une voiture chargée descendant sur une pente de $\frac{1}{46}$ à la vitesse de 35 km. à l'heure a pu être arrêtée ainsi complètement sur un parcours de 30 m.

2° La grande obliquité des filets entraine comme conséquence un effort longitudinal qui exige la présence d'un palier de butée suffisamment résistant. Comme un palier ordinaire dépenserait une grande quantité d'énergie par frottements, il est bon de disposer de préférence sur le bout de l'arbre un plateau circulaire s'appuyant contre des galets bien polis. Si la voiture est appelée à marcher dans les deux sens, il faut une butée semblable de chaque côté.

Au lieu de ce dispositif, on pourrait songer à annuler la réaction longitudinale à l'aide d'équilibreurs magnétiques disposés comme l'indique le croquis (fig. 83). Mais la crainte d'un collage brusque de l'équilibreur ne permettrait pas de les employer sans conserver en même temps des paliers de butée. Il

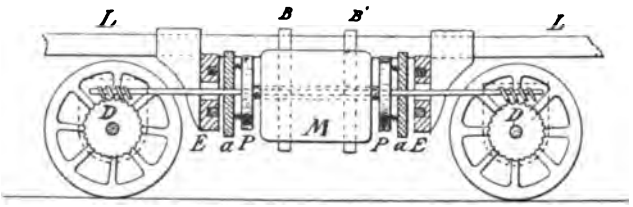



Fig. 83. — Emploi d'un moteur unique attaquant les deux essieux par vis sans fin.

M, moteur. — B,B', barres de support. — E, électro-aimants circulaires. — *a*, armatures calées sur l'arbre des vis. — P, plateaux d'embrayage calés sur l'arbre creux du moteur.

parait donc préférable de s'en tenir au plateau à galets, qui ne présente pas de difficultés sérieuses d'exécution.

Dans tous les cas, pour permettre une suspension élastique, l'arbre du moteur doit être creux et terminé par deux plateaux d'embrayage. Une autre solution, proposée par M. J. Pendleton[1], consisterait à placer le moteur obliquement, de façon que l'une des vis attaque la roue correspondante par-dessous; dans ce cas, les deux réactions longitudinales se feraient équilibre sur l'arbre du moteur.

Grâce à la grande réduction qu'elle permet, la vis sans fin se présente comme une solution rationnelle, et, si les résultats mentionnés plus haut avaient été obtenus au début de la traction électrique, nul doute qu'on ne l'eût adoptée de préférence aux engrenages plans ; mais, aujourd'hui, ceux-ci ont été amenés à un degré de perfection supérieur, qui défie la concurrence. Aussi les maisons qui, comme les ateliers d'Oerlikon, avaient fait quelques applications de la vis aux tramways électriques l'ont-elles abandonnée [2].

Les seules voitures aujourd'hui munies de vis sans fin sont celles cons-

[1] Martin et Weztler. *The Electric Motor*, p. 97.

[2] Il faut dire que les vis à deux filets d'Oerlikon, moins bien étudiées à cette époque que celles de Reckenzaun, ne pouvaient donner les mêmes résultats et n'ont fourni en fait qu'un rendement de 80 à 85 p. 100; d'ailleurs, le principal reproche fait aux moteurs de Marseille était leur puissance insuffisante et non un défaut de rendement.

Digitized by Google

truites en dernier lieu par M. Holroyd Smith pour la ligne de Blackpool, et celles de la maison Siemens et Halske en service sur les tramways de Gênes.

**Engrenages coniques.** — On ne s'attend guère a priori à voir intervenir les engrenages coniques dans les trucks de voitures électriques; ce mode de transmission a été cependant employé à plusieurs reprises en Amérique, soit avec double réduction dans les systèmes Bentley-Knight et Rae, qui ont été appliqués à de nombreuses voitures en 1886-88, soit plus récemment avec simple réduction dans le système Sperry, qui a été l'objet d'un certain nombre d'applications de la part de compagnies de tramways. Ce dernier système seul vaut la peine d'être cité aujourd'hui.

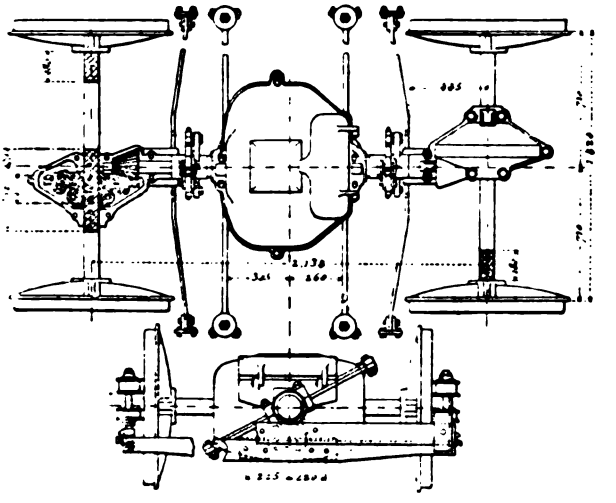


Fig. 84. — Transmission Sperry par engrenages coniques.

Le but essentiel de Sperry, comme de Rae, en employant ce procédé, a été d'actionner les deux essieux d'une voiture à l'aide d'un seul moteur; il y a réussi, comme le montre la figure 84, en plaçant l'axe de celui-ci parallèlement à la voie et en lui faisant attaquer par des pignons coniques deux roues d'angle calées sur les essieux. Les engrenages (fig. 85) sont préservés par une boîte en fonte contenant de l'huile, qui les entretient en parfait état de lubrification; les constructeurs prétendent que le rendement de ces engrenages n'est inférieur que de 1,75 p. 100 à celui d'engrenages cylindriques équivalents[1] et font valoir en faveur de leur système tous les avantages qu'on reconnaîtra plus loin à l'emploi d'un seul moteur.

Fig. 85. — Engrenages coniques du truck Sperry.

[1] Il est plus sûr de compter 2 à 3 p. 100.

Digitized by Google

Par contre, on peut faire à ce mode de transmission diverses objections pratiques : d'abord les dents sont peu solides ; ensuite, en raison de leur forme, elles ne peuvent être que moulées et non taillées à la fraise, ce qui ne permet pas de leur donner une exécution aussi parfaite qu'aux engrenages cylindriques ; enfin le jeu des coussinets peut nuire au bon fonctionnement des engrenages. Une expérience plus grande pourra seule faire connaître définitivement la valeur de cette disposition.

**Engrenages cylindriques.** — La solution qui a été la plus universellement employée est celle des engrenages cylindriques. La première application semble en avoir été faite sur le tramway de Francfort-Offenbach et sur le petit chemin de fer de Mödling, qui ont été construits à peu près avec le même matériel.

Dans ces premières applications, on employait une double réduction, ou double harnais, formée par deux trains d'engrenages avec arbre intermédiaire. Lorsque la traction électrique prit pied en Amérique, cette solution fut adoptée à peu près sans changement. Sprague essaya bien, en 1887, de supprimer l'un des deux trains d'engrenages ; mais on ne savait pas à cette époque construire des moteurs à vitesse suffisamment réduite pour que cela fut possible, en sorte que la double réduction fut appliquée sur toutes les lignes américaines construites par Sprague, Bentley et Knight, van Depoele, etc., jusqu'en 1891. C'est à cette époque seulement que furent créés les nouveaux types de moteurs qui permirent l'emploi d'un seul train d'engrenages, dispositif qui a aujourd'hui prévalu sur tous les autres. Examinons ces deux systèmes avec quelque détail.

1° *Engrenages à double réduction.* — Deux dispositions étaient employées concurremment, suivant que les deux paires d'engrenages se trouvaient réunies d'un même côté ou réparties sur les deux faces du moteur.

La figure 86 représente par exemple le mode de commande d'un des moteurs d'un truck Sprague équipé avec deux moteurs F. 30 (le second n'est pas représenté), réduction 1/9,4, et la figure 87, la disposition de la transmission d'un moteur Westinghouse de 1890. Tous les paliers des divers arbres et de l'essieu sont venus de fonte avec le bâti ou fixés solidement à celui-ci.

Les conditions à réaliser par les engrenages, dans un service de ce genre, sont la solidité et la marche silencieuse. Or les vitesses des moteurs dans ces systèmes étant de 1500 à 900 tours et le coefficient de réduction ordinairement voisin de $\frac{1}{10}$ (dans certains cas on est allé jusqu'à $\frac{1}{19}$), la grande vitesse du premier pignon qui en était la conséquence rendait très difficile l'obtention d'appareils satisfai-

Digitized by Google

sants, surtout dans les premiers temps où on les laissait exposés à la poussière et à l'humidité ; ils s'usaient alors rapidement et donnaient lieu à un ferraillement insupportable. Il fallait les remplacer très fréquemment. Un pignon ne durait guère que 4 mois, ce qui correspondait à environ 4000 km. de parcours, et une roue dentée, 6 à 10 mois (45 000 km.). Le prix d'entretien de ces engrenages n'était pas moindre que 0,05 fr. à 0,06 fr. par voiture-kilomètre.

On a cherché d'abord à réduire cette usure, ou tout au moins le bruit, par

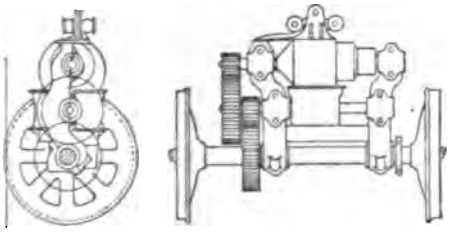


Fig. 86. — Double réduction de Sprague.

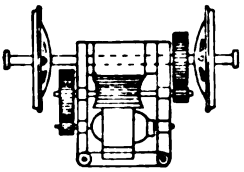


Fig. 87. — Double réduction de la compagnie Westinghouse.

l'emploi de matériaux spéciaux pour les pignons. C'est ainsi que l'on a essayé différentes espèces de bronze d'aluminium, le bois et même le cuir durci (fig. 88), que quelques maisons, par exemple en France la maison Piat, qui vend des pignons en cuir vert comprimé, continuent à construire et à préconiser dans ce but.

Mais le bois manquait de solidité, le cuir s'usait trop vite et, si l'on y intercalait des feuilles de tôles, celles-ci coupaient rapidement comme une scie les dents de la roue conduite. Le bronze phosphoreux a donné de meilleurs résultats. Mais en définitive, c'est l'acier taillé qui a le mieux résolu la question.

Fig. 88. — Pignon en cuir comprimé.

Pour réduire le jeu et le ferraillement, la compagnie Edison-Sprague a employé pendant quelque temps des engrenages doubles, chaque roue ou pignon étant formé de deux couronnes dentées semblables mais décalées l'une par rapport à l'autre d'un demi-pas; ces deux moitiés étaient solidement boulonnées ensemble de façon à ne constituer qu'une roue unique. Les avantages de ce système n'ont pas été suffisants pour en compenser la complication.

La question s'est trouvée heureusement très simplifiée le jour où l'on s'est enfin décidé à protéger les engrenages contre la poussière et les intempéries par une boîte étanche contenant de l'huile de graissage semi-fluide, de manière à assurer en même temps une abondante lubrification. Ce dispositif permit de réduire à 10 ou 15 p. 100 les pertes par frottement. Comme c'est à peu près à la même époque que furent construits les premiers moteurs à vitesse lente, on passa en même temps à la simple réduction. La double réduction ne

Digitized by Google

se rencontre plus que sur quelques lignes anciennes, surtout en Europe; la société Thury l'a employée jusqu'à ces derniers temps sur plusieurs de ses lignes et on a pu en voir un exemple sur le tramway Claret-Vuilleumier de l'Exposition de Lyon (1894).

2° *Engrenages à simple réduction.* — Les engrenages à simple réduction ont profité des écoles de la double réduction et sont ainsi arrivés presque immédiatement à la perfection. Toutes les compagnies américaines ont produit à peu près à la même époque (commencement de 1891) des équipements de ce système, ne différant que par quelques détails. Leur disposition générale, dont le croquis ci-joint (fig. 89) donne un exemple, est des plus simples : le pignon est calé sur l'arbre du moteur en dehors du palier qui le supporte et attaque une roue dentée calée directement sur l'essieu. Celui-ci est embrassé par des paliers fixés invariablement au bâti du moteur ou venus de fonte avec lui.

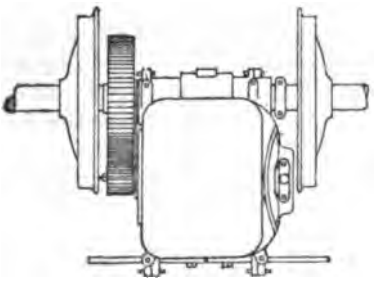


Fig. 89. — Transmission à simple réduction par engrenages ordinaires.

L'ensemble des deux roues est enfermé dans une boîte en fonte étanche qui n'est pas représentée et où elles barbotent dans l'huile; cette boîte, qui n'avait pas été prévue pour les premiers types, leur a été adaptée après coup, dès qu'on a reconnu les avantages de cette méthode; elle protège les engrenages, les lubrifie et, lorsqu'on a soin de la faire en métal peu sonore et de la bien fixer en place, étouffe le bruit désagréable du ferraillement. Le bain d'huile, en réduisant le frottement, double à peu près la durée des engrenages et permet la réalisation de rendements élevés. On peut estimer que le rendement des engrenages à simple réduction bien taillés, avant leur usure, atteint ainsi assez facilement 95 p. 100, au lieu de 0,90 à 0,89 obtenu anciennement.

Ces engrenages, dont la vitesse n'est plus exagérée, se font aujourd'hui généralement en acier coulé (le pignon au moins); le bronze phosphoreux, malgré ses bonnes qualités, ne présente pas des avantages suffisants pour en justifier l'emploi, en pré-

Digitized by Google

sence de son prix plus élevé ; il en de même du bronze d'aluminium, qui a été employé quelque temps pour les pignons des moteurs du tramway de Marseille. La fonte est encore employée pour la roue dentée calée sur l'essieu, par simple raison d'économie; mais l'acier est préférable, du moins lorsque la roue ne doit jamais être menante. La figure 90 représente un train d'engrenage d'un type courant.

On a été amené peu à peu par l'expérience à augmenter beaucoup les dimensions des arbres et des engrenages pour leur donner la solidité suffisante. Le diamètre de l'arbre doit assurer une résistance au moins 5 ou 6 fois supérieure à celle qu'on admettrait pour un moteur fixe; il est de 8 à 10 cm. pour un moteur de 15-25 chev. Les coussinets doivent être plus longs et plus larges que d'ordinaire ; de même les dents des engrenages. Les petits pas admis autrefois comme favorables ont dû être abandonnés au profit de pas voisins du quart du diamètre du pignon, ce qui conduit pour les tramways à mettre 12 à 16 dents par pignon ; pour la roue dentée, on en met 60 à 80.

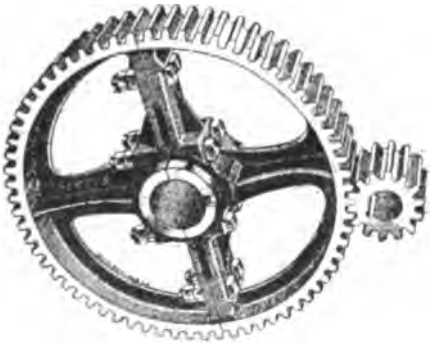


Fig. 90. — Train d'engrenages cylindriques à simple réduction.

Les coefficients de réduction de vitesse sont ainsi de 1/4 à 1/5 dans les types les plus répandus.

La forme à peu près exclusivement adoptée aujourd'hui pour les dents est la développante de cercle, qui leur donne une base large assurant leur solidité; elle présente en outre l'avantage que le jeu des coussinets ne gêne en rien le bon fonctionnement des engrenages. Ce genre de denture exige seulement que le pignon ait un nombre de dents suffisant.

Ces dents peuvent être moulées, mais elles sont préférablement taillées à la fraise, la petite augmentation de dépense correspondante étant amplement compensée par l'amélioration qui en résulte pour le fonctionnement et le rendement de la transmission.

Digitized by Google

Ce fraisage se fait à l'aide de machines spéciales, telles que celle de Brown et Sharp (fig. 91), qui taille en une heure et demie deux pignons à la fois suivant le profil de la fraise.

Le prix de revient des engrenages ainsi taillés est, en Amérique, d'environ 18 fr. pour un pignon en acier et 45 fr. pour une roue dentée en fonte. La durée d'usage, sur une voiture faisant 130 km. par jour, est d'environ neuf mois pour un pignon d'acier. Une roue d'acier peut durer jusqu'à trois ans.

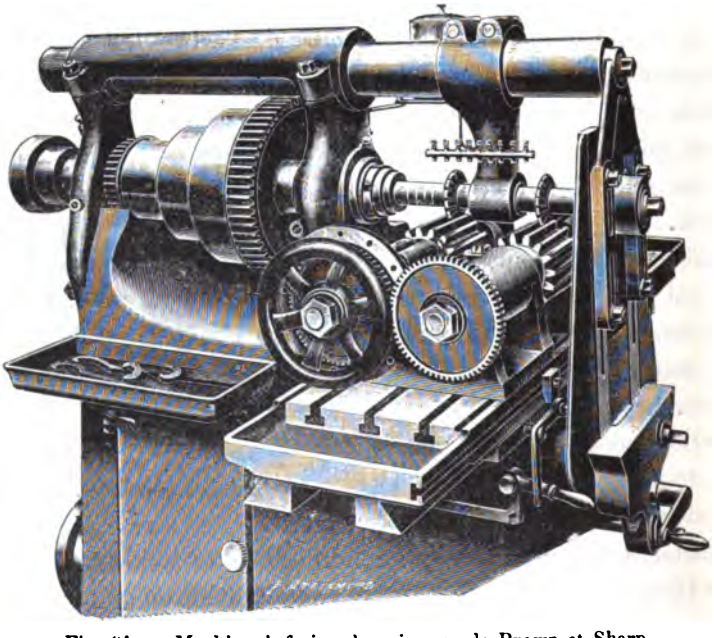


Fig. 91. — Machine à fraiser les pignons de Brown et Sharp.

Le poids des organes nécessités par la transmission est relativement faible; il ne dépasse pas 160 kg., dont 90 à 100 pour la roue de l'essieu et 45 à 50 pour l'enveloppe de fonte servant de boîte à huile.

L'emploi de la simple réduction, en même temps qu'il a permis de réduire beaucoup le bruit des engrenages, a fait disparaître le grincement désagréable que produisaient les balais sur le collecteur des moteurs à grande vitesse.

En Europe, on a une tendance à remplacer les engrenages ordinaires par des engrenages hélicoïdaux doubles, qui réduisent beau-

Digitized by Google

coup les frottements et donnent des surfaces d'appui plus grandes. Ces engrenages s'obtiennent en acier fondu par moulage et certaines usines, notamment celle de Hagen en Allemagne, la maison Piat à Paris, etc., en font une spécialité. Pour faciliter la construction, on remplace généralement l'arc d'hélice par une droite tangente à cet arc, ce qui donne les engrenages connus sous le nom d'*engrenages à chevrons*. Ceux-ci peuvent être obtenus par moulage; on peut aussi former chaque roue de deux moitiés symétriques qu'on taille séparément à la fraise. A dimensions égales, les pignons à chevrons présentent une plus grande solidité que les pignons simples.

**Comparaison.** — Les détails précédents nous donnent tous les éléments nécessaires à une comparaison précise entre les divers systèmes; les données moyennes[1] en sont résumées dans le tableau de la page suivante, qui facilitera cette comparaison en indiquant l'influence du mode de transmission sur le poids du moteur.

Les courroies, cordes et chaînes ne répondent plus aux besoins actuels; il en est de même des roues de friction.

Les engrenages coniques et les transmissions par chaînes constituent deux procédés d'inégale valeur pour permettre l'emploi d'un seul moteur tout en conservant deux essieux moteurs. Ils n'ont de raison d'être que si l'on adopte cette méthode pour les motifs spéciaux indiqués plus haut.

Les engrenages cylindriques constituent la solution la plus simple et la plus sûre, toutes les fois que le moteur n'attaque qu'un seul essieu; on a vu la supériorité de la simple réduction sur la double au point de vue du rendement et les chiffres du tableau la mettent bien en évidence.

Au point de vue du poids du moteur, la double réduction ou la vis sans fin, permettant l'emploi de dynamos à grande vitesse, paraissent plus avantageuses. Mais, dans le cas des engrenages cylindriques, la diminution de poids réalisée sur le moteur en doublant la vitesse de rotation de son induit est compensée et au delà par

[1] Pour établir celles-ci, nous avons dû réduire un peu certaines estimations de puissance données par les fabricants, parce qu'elles ne correspondent qu'à des régimes momentanés, tandis qu'il s'agit ici de régimes pouvant être prolongés.

Digitized by Google

l'augmentation du poids total des engrenages et de leurs accessoires (arbre, boîte, paliers, etc.); un train d'engrenages à double réduction ne pèse en effet pas moins de 500 kg., au lieu de 150 à 180 pour la simple réduction. Le rendement est, d'autre part, diminué de 4 à 5 p. 100, le bruit est doublé, et, ce qui est le plus grave, les frais d'entretien, sans atteindre les chiffres anciens, sont aussi

COMPARAISON DES PRINCIPAUX SYSTÈMES DE TRANSMISSION

*pour moteurs de 15 chevaux à la vitesse de 12 km. à l'heure ou de 20 chevaux à la vitesse de 16 km.*

| SYSTÈME DE TRANSMISSION | NOMBRE de tours par minute du moteur à vitesse normale | POIDS d'un moteur avec sa transmission en kilog. | RENDEMENTS industriels en p. 100 a pleine charge[1] | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | du moteur | d'une excellente transmission dans l'huile | global |
| Engrenages cylindriques à double réduction avant 1891 | 1000 à 1200 | 900-1000 | 75-85 | 76-80 | 60-65 |
| Engrenages cylindriques à double réduction possibles aujourd'hui | Id. | 800-900 | 85-95 | 85-88 | » |
| Engrenages à simple réduction actuels | 400 à 500 | 800-950 | 85-88 | 93-95 | 80-82 |
| Engrenages coniques à simple réduction actuels | 400 à 500 | Id. | 85-88 | 90-92 | 75-80 |
| Chaînes Reynolds à simple réduction | 400 à 500 | Id. | 85-88 | 88-90 | 75-80 |
| Vis sans fin, type ancien | 1200 | 600-700 | 60-85 | 75-80 | 60-68 |
| Vis sans fin moderne construite d'après la méthode de Reckenzaun | 1200 | Id. | 80-85 | 88-90 | 70-77 |
| Accouplement direct | 90 à 110 | 1200-1500 | 75-85 | » | 75-85 |

[1] Tous les chiffres de ce tableau s'appliquent à la pleine vitesse et à la pleine charge; les rendements moyens pendant un parcours sont très inférieurs à ceux indiqués ici.

sensiblement doublés. La double réduction ne trouvera donc plus d'applications que sur les lignes de montagne.

En ce qui concerne la vis sans fin, son rendement plus faible d'environ 10 p. 100 la met évidemment en état d'infériorité vis-à-vis des engrenages simples pour les lignes ordinaires; mais d'autre part, la vis a une marche très douce, parfaitement silencieuse, et s'use très peu quand elle est bien lubrifiée. Aussi, dans les circonstances où l'on aurait besoin d'une marche relativement lente et où l'on désirerait réduire le poids des trucks moteurs au

Digitized by Google

minimum, par exemple sur des voies entièrement en rampe ou pour de petites lignes particulières d'usines ou d'exploitations industrielles, la vis sans fin, utilisée rationnellement suivant les principes de Reckenzaun, pourrait constituer encore une solution acceptable.

En fait, sur les lignes ordinaires, l'engrenage cylindrique simple est actuellement à peu près exclusivement employé [1].

Il y a quelques années déjà, nombre d'inventeurs ont cherché à réaliser un nouveau progrès en supprimant toute réduction entre les moteurs et l'essieu ; mais l'on dut reconnaître que la disparition des engrenages, si désirable qu'elle fut au point de vue de la simplicité et de l'économie d'entretien, entraîne, en dehors du cas des trains à grande vitesse, une augmentation de prix et de poids tout à fait prohibitive. Nous reviendrons plus loin sur ce sujet (p. 132).

**Suspension des moteurs.** — A l'origine des tramways électriques, on a beaucoup tâtonné, comme nous l'avons dit, sur la position à donner aux moteurs; à partir du jour où on les a logés dans un truck métallique entièrement indépendant de la caisse, on ne s'est plus beaucoup occupé de leur mode d'attache. La plupart des constructeurs en ont fait reposer le poids entièrement ou partiellement sur les essieux : dans ces conditions, au passage de chaque joint ou à la rencontre du plus petit obstacle, la roue se soulève, entraînant avec elle cette énorme masse qui varie de 800 à 3 000 kg. suivant les puissances, et retombe ensuite avec elle sur le rail en produisant un violent effet de martelage.

On a vu plus haut les conséquences fâcheuses de celui-ci pour la conservation des voies.

D'autre part, les secousses violentes auxquelles le moteur se trouve soumis en réduisent beaucoup la durée ; les paliers s'usent, les engrenages se fatiguent, les vis se desserrent, la structure du métal se modifie et devient cassante, les isolants se désagrègent

[1] En dehors des modes de transmission que nous venons de passer en revue, il en a été proposé quelques autres, souvent ingénieux, mais peu pratiques, dont nous ne parlerons pas ici et que les lecteurs pourront trouver dans la collection de la *Lumière Electrique* (articles de M. G. Richard).

On a imaginé également des transmissions à *vitesse variable*, qui trouveront leur place plus loin dans l'étude de la *régulation de vitesse*.

Digitized by Google

peu à peu, les jonctions délicates, telles que celles de l'induit avec les barres du collecteur, se brisent facilement. Enfin les essieux qui supportent les moteurs subissent promptement une cristallisation qui peut en amener la rupture.

Il y a donc un intérêt capital au point de vue du bon fonctionnement et de la réduction des frais d'exploitation à réaliser une bonne suspension des moteurs.

Le moteur de traction doit être relié d'une part à l'essieu pour l'attaquer et de l'autre au truck pour y prendre un point d'appui; afin de lui permettre de se déplacer légèrement par rapport au truck, les deux attaches ou au moins l'une d'elles doivent être articulées ou flexibles. Le procédé employé diffère naturellement suivant le genre de transmission.

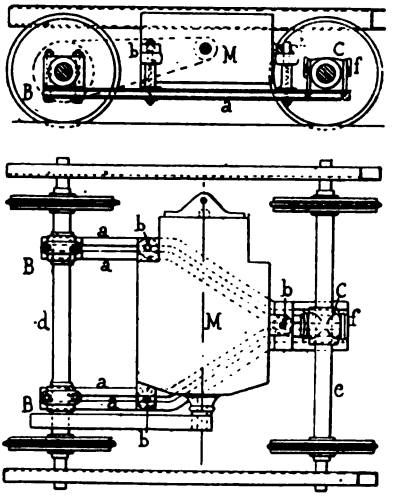


Fig. 92. — Anciennes voitures de Budapest. — Suspension du moteur sur les essieux.

1. Avec les câbles, chaînes ou bielles, rien de plus facile. Le moteur est fixé d'une manière rigide au truck, l'organe de transmission présentant par lui-même une flexibilité suffisante pour permettre au moteur d'attaquer l'essieu sans reposer sur lui autrement que par l'intermédiaire du truck. Sur les anciennes voitures de Budapest (fig. 92), qui n'ont pas de truck à proprement parler, le même résultat a été obtenu en fixant le moteur par trois tampons de caoutchouc *b*,*b*,*b* sur un châssis *aa* en forme de fourche, qui repose lui-même par deux coussinets fixes B,B sur l'essieu *d* et par deux mailles à boulons *f*, *f* sur le coussinet *c* enfilé librement sur l'essieu *e*.

2. Avec les engrenages coniques, la solution est plus délicate, car les axes des pignons doivent rester parfaitement alignés. Dans les premiers essais de ce système, M. *Rae* faisait reposer tout le poids du moteur sur les essieux avec lesquels il constituait un ensemble indéformable; la caisse de la voiture seule était suspen-

Digitized by Google

due par ressorts ; dans ces conditions le martelage était excessif[1].

Au contraire, dans le système plus récent de M. *Sperry* (fig. 84), on a réalisé une suspension complètement élastique : le moteur est supporté par une traverse fixée rigidement au truck, tandis que les pignons sont munis de petits arbres maintenus parfaitement alignés par des paliers solidaires des essieux. L'axe du moteur dans sa position normale coïncide avec les axes des précédents, mais il peut subir de petits déplacements dans le plan vertical. Pour permettre ces mouvements tout en solidarisant les arbres, il suffit de réunir ceux-ci par des accouplements élastiques formés de deux plateaux en forme de disques reliés par des ressorts ; le croquis

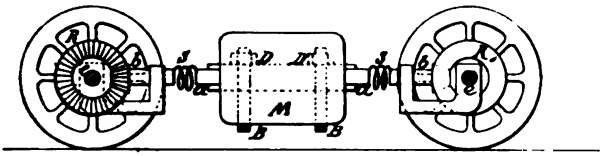


Fig. 93. — Suspension élastique d'un moteur attaquant deux essieux.

(fig. 93) indique schématiquement une disposition équivalente avec des accouplements par spirales.

La figure 94 montre la vue extérieure de l'un des accouplements de M. Sperry avec axes excentrés et sa disposition intérieure : l'appareil est composé de deux roues dentées agissant l'une sur l'autre par l'intermédiaire de boules en caoutchouc ; sa marche est très douce et régulière.

3. L'emploi de la vis sans fin permet, soit une combinaison analogue à la précédente (dispositif de M. Pendleton), soit une disposition analogue à celle de la figure 96.

4. L'emploi des engrenages à simple ou à double réduction exige qu'il y ait une liaison indéformable entre l'arbre du moteur et l'essieu, tout en laissant à la transmission une élasticité suffisante pour éviter la rupture des dents d'engrenage en cas de choc. On a satisfait à cette condition en fixant invariablement au bâti du moteur les paliers de l'arbre intermédiaire, s'il y en a un,

[1] On aurait pu éviter cet inconvénient en remplaçant la transmission par engrenages entre le moteur et l'axe des pignons par une transmission par chaine. C'est ce qu'on a fait plus récemment dans le système *Johnson-Lundell*, mais cette double réduction serait aujourd'hui un véritable anachronisme.

Digitized by Google

et deux paliers dans lesquels on fait tourner l'essieu à commander. Le premier pignon est calé sur l'arbre du moteur et la dernière roue dentée sur l'essieu. De cette manière, aucune variation des distances entre les axes n'est à craindre et il ne peut s'établir

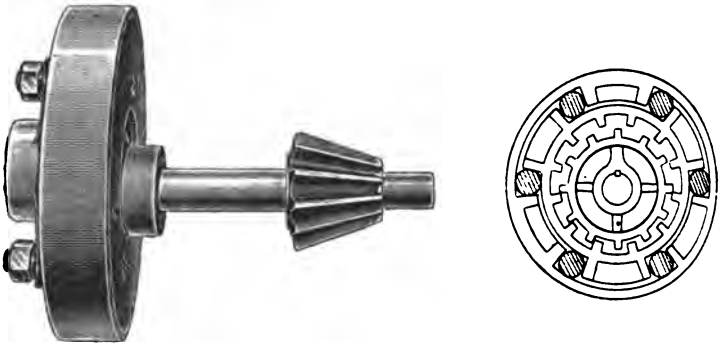


Fig. 94 et 94 *bis*. — Accouplement élastique de Sperry. — Vue extérieure et schéma de l'intérieur.

d'autre jeu dans les engrenages que celui qui résulte de l'usure; presque tous les appareils à double ou simple réduction ont été établis d'après cette méthode. Mais dans ces conditions, le poids du moteur repose forcément en tout ou en partie sur l'essieu.

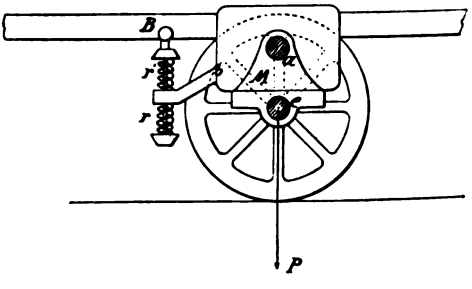



Fig. 95. — Suspension des moteurs de Sissach-Gelterkinden.

Les petites locomotives électriques de la ligne Sissach-Gelterkinden construites par les ateliers d'Oerliken il y a plusieurs années, portaient au-dessus de chaque essieu un moteur M (fig. 95) soutenu latéralement au moyen de deux bras *b'* venus de fonte avec les inducteurs et qui s'appuient par l'intermédiaire de deux paires de ressorts *spiraux* $r, r'$ sur des tiges reliées au truck. Mais le moteur n'avait ainsi aucune suspension élastique et se logeait d'autre part difficilement au-dessous de la caisse; aussi cette solution ne fut-elle pas imitée ailleurs. Une autre disposition employée par la

Digitized by Google

Compagnie de l'Industrie Electrique sur ses premières voitures et qu'on peut voir encore à Clermont-Ferrand, Dijon, etc., était analogue à celle du truck de Budapest décrit plus haut : deux coussinets de support sur l'un des essieux faisaient partie de la carcasse du moteur et celle-ci était prolongée d'autre part par une barre d'appui reposant par un étrier à ressort sur un troisième coussinet entourant le deuxième essieu. Cette disposition laissait la plus grande partie du poids reposer sans intermédiaire sur le premier essieu et elle ne permettait pas l'emploi de deux moteurs sur une même voiture; elle est ajourd'hui abandonnée.

La figure 96 montre sous forme de schéma le procédé *Sprague*, appliqué exclusivement en Amérique jusqu'en 1893, d'abord pour les moteurs à double réduction, puis pour les moteurs à simple réduction. Il y a deux points d'appui : l'un rigide sur l'essieu, l'autre élastique sur le truck; à cet effet, la carcasse porte du côté opposé à l'essieu une sorte de bec *b* (ou deux dans certains cas) venu de fonte avec elle ou avec une plaque rapportée ; ce bec repose par l'intermédiaire de ressorts *r* ou de tampons de caoutchouc sur une traverse du truck. Dans certains cas, un ressort antagoniste *r'* limite les déplacements dans le sens vertical.

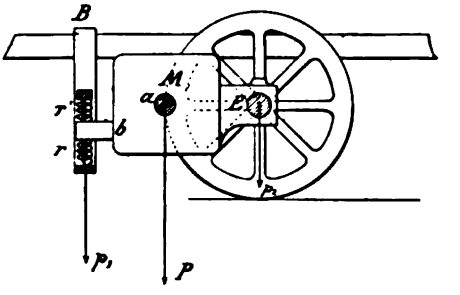



Fig. 96. — Suspension « par le nez ».
E, essieu. — *a*, arbre moteur. — *b*, bec ou nez de suspension. — *r*, *r'*, ressorts.

Au lieu de ces ressorts, un simple levier articulé reliant le moteur au truck, suspendu lui-même élastiquement, eût réalisé tout aussi bien le soulagement de l'essieu; mais les ressorts sont nécessaires pour éviter les à-coup que les oscillations feraient éprouver aux dents des engrenages et les ruptures qui en seraient la conséquence ; ils ont en outre une autre raison d'être, c'est d'éviter aux voyageurs les secousses résultant de l'application brusque du courant aux moteurs lors des démarrages. Le premier effort est employé à tendre les ressorts avant que la voiture se mette en marche.

La disposition que nous venons de décrire et qu'on peut appellera

Digitized by Google

*suspension par le nez*, pour traduire le terme « nose suspension » des Américains, est encore très imparfaite, puisque la moitié environ du poids du moteur repose directement sur l'essieu et que celui-ci se trouve ainsi jouer le rôle d'un véritable marteau, soulevé au passage de chaque surélévation de la voie, et renvoyé ensuite contre celle-ci par les ressorts des plaques de garde. Aussi a-t-on imaginé dans le cours des deux dernières années des procédés meilleurs, en particulier les suivants.

La suspension *par barres latérales* de la General Electric Co, qui est appliquée depuis quelque temps à son type G. E. concurremment avec la suspension par le nez, consiste, comme le représente la figure 97, dans l'emploi de deux barres latérales C D, fixées au truck

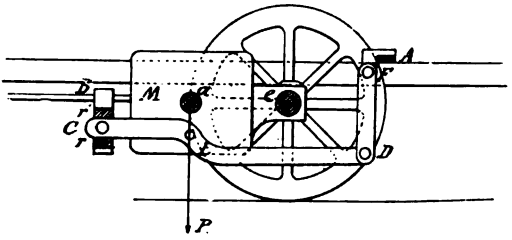



Fig. 97. — Suspension par barres latérales.

ADC, barre articulée. — B, longeron. — t, tourillon. — r, r', tampons de caoutchouc.

et venant supporter le poids du moteur par l'intermédiaire de tourillons *t* venus de fonte avec celui-ci et placés exactement dans le plan vertical du centre de gravité. Ces barres, en fer méplat, sont soutenues du côté de l'essieu par une tige doublement articulée reliée au truck, et de l'autre côté par une entretoise en forme d'U sur laquelle elles s'appuient par des tampons en caoutchouc. Grâce à la position du point d'appui, le poids du moteur se trouve reporté tout entier sur le truck et l'essieu ne porte rien ; il ne semble pas cependant que le succès de ce procédé soit complet, parce que les engrenages s'usent d'une manière moins égale qu'avec l'ancienne méthode. Aussi la General Electric Co dispose-t-elle ses moteurs de manière qu'on puisse leur appliquer à volonté l'une ou l'autre. Une variante de la dernière, dite suspension *par joug*, que cette compagnie adapte, si on le désire, à ses types récents, notamment au G. E. 1000 (fig. 98), permet aussi de reporter

Digitized by Google

le poids sur le truck ; elle consiste dans l'emploi d'une traverse de soutien non pas droite, mais recourbée de façon que les points d'attache sur le truck soient dans le plan vertical du centre de gravité. Mais on voit que la traverse doit être absolument solidaire du moteur et qu'elle travaille à la flexion, ce qui paraît peu favorable. Peut-être l'emploi de ressorts, donnant un jeu plus étendu que les tampons de caoutchouc, améliorerait-il la suspension par barres latérales ; ces ressorts sont employés avec succès dans les deux procédés suivants.

La suspension *par barres supérieures* (fig. 99), adoptée par la compagnie Westinghouse, a pour but, comme les deux précédentes, de

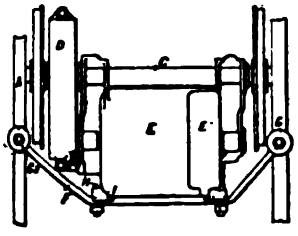


Fig. 98. — Suspension par joug.

A, longeron. — $G_2FG$, barre formant le joug. — H, boulons de serrage du joug.

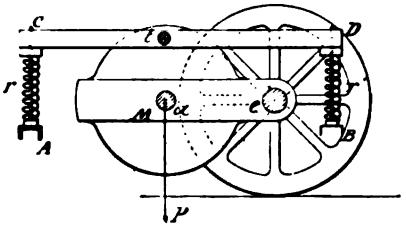



Fig. 99. — Suspension Westinghouse.

A,B, traverses. — CD, fers méplats, qui peuvent ou non former un cadre complet.

placer le point d'attache au droit du centre de gravité ; mais ce point d'attache est situé au-dessus de la carcasse, disposition qui a été imitée dans le G. E. 1000 ; 2 fers méplats CD, supportant en leur milieu la demi-culasse supérieure du moteur[1], s'appuient à leurs deux extrémités par l'intermédiaire de puissants ressorts spiraux sur deux traverses A et B, formées de fers en U et reliées directement au truck. Ce dispositif, tout en présentant les mêmes avantages que le précédent, est plus symétrique et plus élastique.

Le procédé adopté plus récemment par la Walker Manufacturing Co. est l'application d'un principe très ingénieux tout différent : il conserve en apparence les dispositions de la suspension par bec, mais avec cette différence que les paliers de support sur l'essieu

[1] Aux débuts, les fers méplats étaient enchâssés dans la culasse lors de la fonte de celle-ci ; aujourd'hui ils supportent le moteur par des tourillons ou des poignées ; on remplace aussi les deux fers plats par un cadre rectangulaire complet. Ces dispositions permettent d'appliquer aux mêmes moteurs la suspension par bec.



Digitized by Google

ne font pas partie du bâti du moteur. Ces paliers et ceux de l'arbre du moteur sont venus de fonte avec une pièce séparée CD formant gaine autour de l'essieu (fig. 100) et portant la boîte des engrenages. La carcasse du moteur est munie de deux consoles en surplomb $b'$, qui s'appuient sur cette gaine de fonte par l'intermédiaire de ressorts spiraux $r$ (des contre-ressorts $r'$ limitent les déplacements). De cette manière, tout le moteur est suspendu élastiquement, mais une moitié de son poids est supportée par le truck et l'autre repose sur l'essieu par l'intermédiaire de ressorts.

Cette solution semble plus parfaite que les précédentes au point de vue de la suppression du martelage, parce qu'elle réduit au minimum la *masse* de la partie solidarisée à l'essieu.

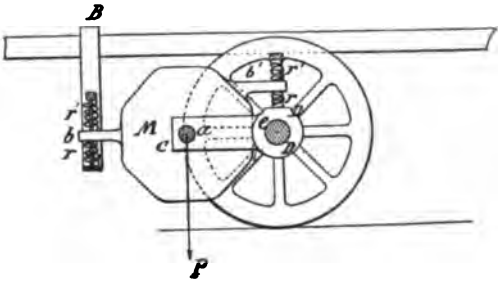



Fig. 100. — Suspension Walker.

On pourrait encore employer d'autres dispositifs : par exemple, suspendre le moteur rigidement au truck, après l'avoir rendu indépendant du système des engrenages, et donner au pignon un petit arbre et un palier séparé ; les deux arbres seraient réunis par un accouplement déformable comme dans le système Sperry. Cette solution présenterait seulement l'inconvénient de réduire la longueur disponible pour l'armature et par suite la puissance du moteur.

On voit que les moyens ne manquent pas aujourd'hui pour réaliser des suspensions parfaitement élastiques pour les moteurs à réduction de vitesse ; on verra plus loin qu'il en est de même pour les moteurs sans réduction. L'usure des coussinets des paliers d'essieu se trouve elle-même fort réduite par une bonne suspension. Avec la suspension par le nez, le coussinet supérieur dure environ six mois et le coussinet inférieur douze ; cette durée est doublée par l'emploi des méthodes que nous venons de décrire.

Digitized by Google

Pour les gros moteurs de chemins de fer, on se contente encore souvent d'une suspension imparfaitement élastique, à cause de la place restreinte disponible sur les bogies et de la difficulté de réaliser des ressorts assez puissants; mais cela est défectueux.

**Effet du couple de réaction sur la suspension.** — Nous ne quitterons pas ce sujet avant d'avoir fait une remarque au sujet de l'effort auquel sont soumis les points de suspension. Cet effort ne provient pas seulement du poids du moteur, mais encore du travail produit par lui; par suite des réactions électromagnétiques qui s'exercent entre l'induit et les inducteurs, la carcasse servant d'enveloppe au moteur est soumise à un couple égal et opposé au couple moteur appliqué sur le pignon des engrenages, et tend, dans le cas d'une transmission par simple réduction, à tourner autour de l'essieu dans le même sens que le moteur[1].

Ce couple $C$ est équivalent à deux forces égales et opposées appliquées aux points de suspension. En appelant $l_1$ et $l_2$ les distances horizontales du centre de gravité du moteur aux deux points de suspension, nous aurons donc pour les efforts sur les deux appuis $p_1$ et $p_2$ (fig. 96), en supposant que la voiture se déplace vers la gauche :

appui le plus voisin de l'essieu

$$p_1 = \frac{l_2}{l_1 + l_2} P + \frac{C}{l_1 + l_2},$$

appui le plus éloigné

$$p_2 = \frac{l_1}{l_1 + l_2} P - \frac{C}{l_1 + l_2}.$$

Le second terme n'est pas négligeable aux fortes charges, ni surtout au démarrage. Il suffit, pour s'en rendre compte, de prendre le type G. E. 800 de la General Electric Co., qui produit un effort de 360 kg. à la jante d'une roue de 0,84 m.; les données en sont :

$$l_1 = l_2; \qquad l_1 + l_2 = 0{,}68 \text{ m.};$$
$$P = 660 \text{ kg.}; \qquad \text{réduction} = 1 : 4{,}78;$$

d'où

$$C = \frac{360 \text{ kg.} \times 0{,}42 \text{ m.}}{4{,}78} = 31{,}50 \text{ kgm.}$$

[1] C'était l'inverse avec les transmissions à double réduction.

Digitized by Google

On en déduit, dans le cas de la suspension par le nez,

$$p_1 = 330 + \frac{31.5}{0,68} = 376 \text{ kg.}$$

$$p_2 = 330 - \frac{31,5}{0,68} = 284 \text{ kg.}$$

On voit que l'inégalité de poids produite par le couple est notable (92 kg.) et qu'elle tend à surcharger encore l'essieu, ce qui augmente le martelage, mais diminue la tension des ressorts.

Dans le cas de la suspension au droit du centre de gravité par barres latérales, l'effort supplémentaire sur l'essieu devient

$$\frac{C}{l_2} = \frac{31,50}{0^m,34} = 92 \text{ kg.}$$

Au moment du démarrage, le couple peut être aisément double ou triple du couple normal ; s'il dépassait la valeur correspondante au moment du poids du moteur par rapport à l'essieu, le moteur pourrait se soulever autour de celui-ci comme point d'appui ; mais cette éventualité n'est pas à craindre : par exemple, dans le moteur considéré, si le couple de démarrage est le triple du couple normal, l'effort de soulèvement ramené au centre de gravité ne dépasse pas $\frac{3 \times 31,50}{0,34} = 280$ kg. en chiffres ronds, tandis que le poids propre est de 660 kg[1]. comme nous l'avons dit.

Si la voiture se déplaçait dans le sens inverse, toutes les réactions précédentes changeraient de signe ; ce serait le ressort qui serait surchargé et l'essieu soulagé. Il y a lieu de tenir compte de cette différence sur les voitures à deux moteurs : les ressorts du moteur d'avant se fatigueront plus que ceux du moteur d'arrière ; lorsqu'un support s'étant rompu on devra mettre des attaches provisoires, il y aura lieu, pour soulager celles-ci, de faire fonctionner le moteur s'il est à l'arrière, et de le mettre hors circuit s'il est à l'avant.

**Emploi des moteurs sans réduction de vitesse.** — Comme nous l'avons dit plus haut, les moteurs sans réduction de vitesse, employés

[1] Nous ne tenons pas compte ici du poids des engrenages et de leur boîte, qui atteint 150 kg. environ.

Digitized by Google

dès 1890 sur la ligne urbaine du « City and South London Railway », n'ont pu être utilisés pour la traction des tramways ; mais comme ils constituent la solution naturelle pour la traction à grande vitesse, il est utile d'en exposer les principes, de rappeler les premiers essais qui en ont été faits sur les tramways américains et d'en tirer quelques enseignements.

Deux modes d'emploi de ces moteurs ont été appliqués : l'accouplement direct et la transmission par bielles.

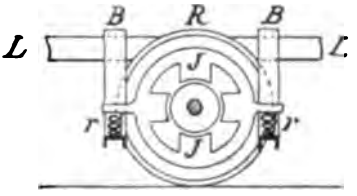



Fig. 101. — Suspension des moteurs sans réduction à arbre plein.

1° *Système à accouplement direct.* — Le dispositif le plus simple consiste à caler l'armature sur l'essieu lui-même, qu'embrassent d'autre part les paliers faisant corps avec la carcasse inductrice J (fig. 101). Le centre de gravité de tout le moteur se trouvant au droit de l'essieu, il se produirait un martelage violent de la voie si l'on ne reportait le poids du moteur sur le truck L B L par des ressorts $r, r$ placés à ses extrémités ; cette disposition, qui a été proposée par Hopkinson en 1890 et par la compagnie Westinghouse en 1891[1], a en outre l'avantage d'amortir le choc produit au démarrage par l'admission brusque du courant.

On observera encore ici que les conditions d'équilibre du moteur dépendent non seulement de son poids, mais encore du couple développé en marche ; celui-ci tend, en effet, à faire basculer la carcasse en sens inverse du mouvement et charge ainsi le ressort d'arrière plus que le ressort d'avant. Si l'on appelle $l$ la distance du point d'application de chacun des ressorts à l'axe de l'essieu, $P$ le poids du moteur et $C$ le couple normal développé par celui-ci, les efforts auxquels doivent pouvoir résister les ressorts sont :

$$\frac{P}{2} - \frac{C}{l} \text{ pour le ressort d'avant } r_1,$$

$$\frac{P}{2} + \frac{C}{l} \text{ pour le ressort d'arrière } r_2.$$

Comme, en réalité, le couple $C$ n'est pas constant, le moteur s'inclinera plus ou moins suivant la charge.

D'ailleurs, les couples ayant ici une valeur beaucoup plus grande à puissance égale que pour les moteurs à réduction, la réaction est plus importante.

Supposons, par exemple, qu'on ait un moteur donnant 25 chev. à 150 tours et pesant 1 200 kg. Le couple normal en kilogrammètres est égal à

$$\frac{25 \times 75}{\frac{150}{60} \times 2\pi} = 120 \text{ en chiffres ronds.}$$

[1] Cf. *Lumière Électrique*, 1891 et 1892.

Digitized by Google

Si les deux points de suspension sont distants de 1 m., les poids que supporteront les ressorts seront respectivement

$$600 - 120 = 480 \text{ kg.} \qquad \text{et} \qquad 600 + 120 = 720 \text{ kg.}$$

L'inégalité n'est donc pas négligeable et elle le serait bien moins encore au démarrage, où le couple est toujours deux ou trois fois plus fort.

Le mode de suspension qui vient d'être décrit est défectueux à cet égard. Il l'est plus encore par la masse considérable des organes solidaires de l'essieu dont l'inertie suffit à produire de fortes percussions sur la voie.

D'autre part, il faut remarquer que les ressorts de suspension du moteur, agissant sur l'essieu en *sens inverse* de ceux du truck, réduisent d'autant l'action utile de ceux-ci, qu'on devra renforcer en conséquence.

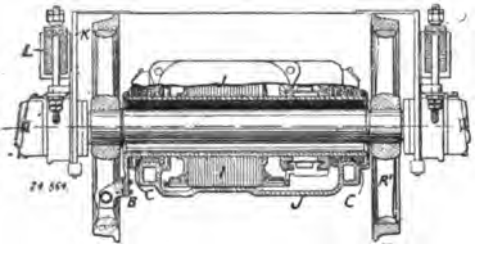



**Fig. 102.** — Suspension des moteurs sans réduction à arbre creux.

J, enveloppe solidaire du truck. — I, inducteurs. — C, coussinets de l'arbre creux. — L, ressorts. — K, plaques de garde. — B, croisillon d'entraînement.

M. *Raffard* a imaginé (en 1883)[1] une autre disposition qui présente à ces points de vue de sérieux avantages sur la précédente. Le jeu élastique nécessaire (25 mm. environ) est obtenu, non plus entre la carcasse et le truck, mais entre le moteur et l'essieu, en calant l'armature sur un arbre creux, concentrique à l'essieu et tournant lui-même dans des paliers fixés au bâti inducteur; celui-ci est alors suspendu rigidement au truck. Le tube est relié à l'essieu par deux accouplements élastiques qui permettent le déplacement relatif de ces deux organes.

Ce dispositif qui est imité aujourd'hui dans les locomotives électriques de la General Electric Co., de Heilmann (fig. 102), que nous décrirons plus loin, etc..., a été appliqué aux voitures de tramways par M. *Short* en 1891, et plusieurs compagnies américaines ont breveté des appareils analogues.

Dans le premier truck Short (fig. 103), à roues de 0,90 m., l'entraînement de l'essieu était obtenu par des ressorts spiraux, qui ont été remplacés postérieurement par des tampons de caoutchouc[2] (fig. 114), fixés à l'extrémité de trois bras radiaux calés sur l'arbre et s'appuyant contre trois épaulements ménagés sur les rais de la roue correspondante ; pour permettre la marche en arrière, une seconde transmission semblable attaquait en sens inverse la roue opposée de l'essieu ; enfin dans le dernier modèle de ce truck (1892), la connexion se faisait par leviers articulés (fig. 104) et les roues n'avaient plus que 0,75 m. de diamètre.

[1] Voir ch. I, p. 8, fig. 7.

[2] Les tampons de caoutchouc ont été substitués également aux ressorts pour la suspension du moteur au truck ; il en résultait pour le moteur un isolement électrique complet.

Digitized by Google

2° *Système à accouplement indirect par bielles*[1]. — Cette solution (fig. 105), imaginée par *Stephen D. Field*, avait pour but de combiner les avantages de l'accouplement direct et de l'attaque des deux essieux par un seul moteur. Celui-ci était fixé directement au truck et son arbre, parallèle aux essieux, por-

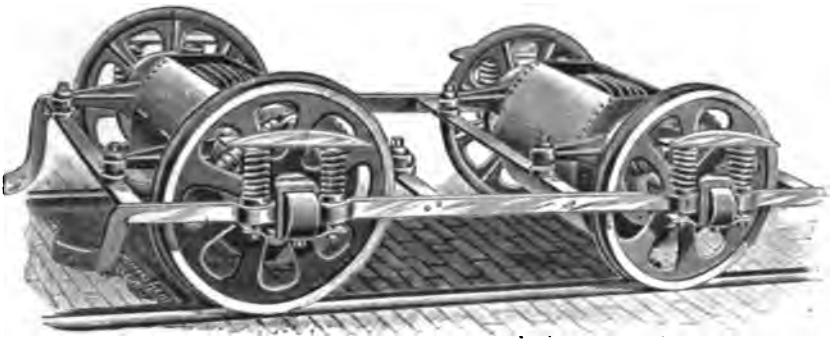


Fig. 103. — Premier truck Short sans réduction.

tait à ses deux extrémités un disque relié par des bielles aux roues du truck.

Cette transmission présente une extrême simplicité et un rendement voisin de celui du système à simple réduction ; l'emploi des bielles, permettant de fixer le moteur au truck, supprime en outre tout martelage de la voie.

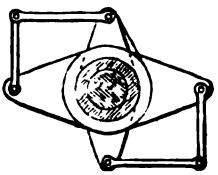


Fig. 104. — Leviers d'entraînement du dernier truck Short.

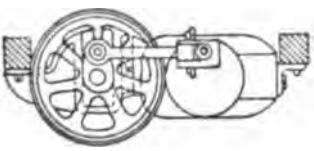


Fig. 105. — Transmission Eickemeyer et Field, par bielles sans réduction.

Elle fut appliquée d'abord par Field à une locomotive essayée sur le chemin de fer élevé de New-York en 1888, puis par *Eickemeyer* et *Field* à des voitures de tramways construites en 1891.

Des voitures munies de ce truck avec moteur de 25 chev. (fig. 106) ont été employées quelque temps sur les lignes de Long Island City, Toledo et Lynchburg, où elles ont pu circuler aisément sur des rampes atteignant 11,5 p. 100.

Pour des lignes plus importantes, le même constructeur avait réalisé un type intéressant de voiture à bogies ayant 7,50 m. de longueur (10 m. avec les plates-formes) et 2,50 m. de largeur. Chaque bogie était formé d'un châssis à deux essieux espacés de 1,42 m., avec des roues de 0,61 actionnées par un moteur central semblable à celui que nous venons de décrire, mais plus petit (18 chev.

[1] Au lieu de bielles on pourrait employer des chaînes de Galle.

Digitized by Google

au lieu de 25), de sorte que la puissance totale disponible en régime normal atteignait 36 chevaux.

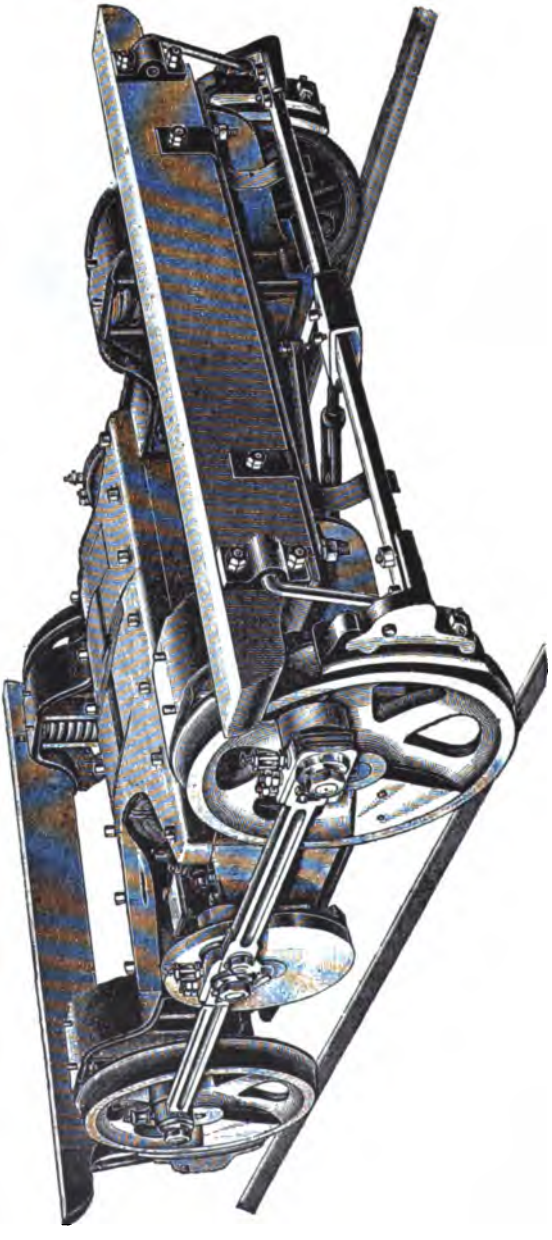


Fig. 106. — Truck Eickemeyer-Field.

Les systèmes à action directe présentent des avantages intéres-

Digitized by Google

sants de simplicité et de facilité d'entretien ; ils suppriment les engrenages et font disparaître, avec les chances d'arrêt résultant d'une rupture de dents, le bruit et le frottement occasionnés par ces organes gênants. Mais, sur les lignes de tramways, les trucks moteurs ainsi équipés présentent un poids excessif [1] et par suite un prix supérieur à celui des autres ; leur rendement est inférieur, sinon à celui des trucks anciens, du moins à celui des trucks à

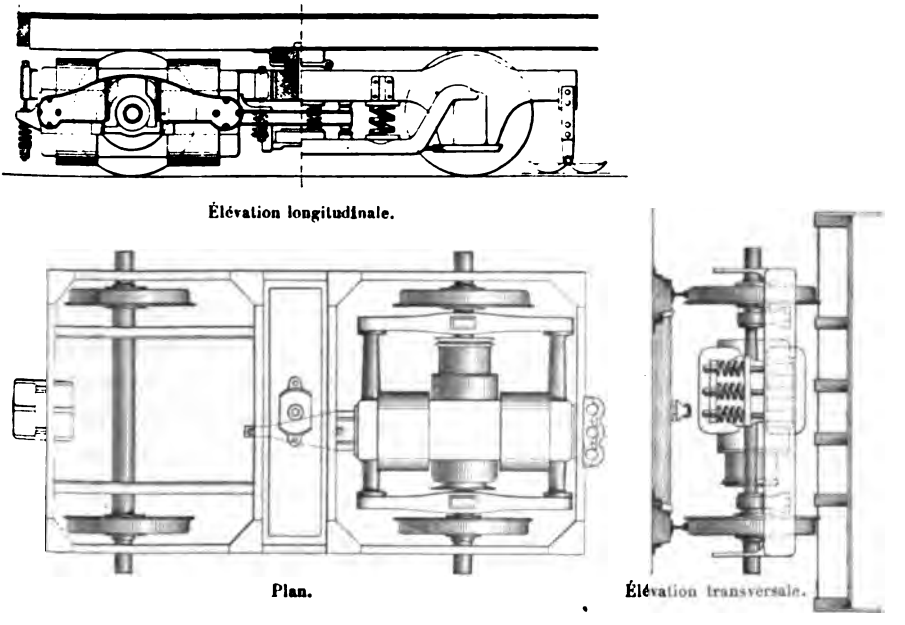



Fig. 107. — Bogie à un moteur du métropolitain de Liverpool.

simple réduction. Il a régné pendant quelque temps des idées fausses sur ce sujet, parce que les inventeurs faisaient ressortir habilement entre leurs moteurs et l'essieu un rendement plus élevé, à *puissance maxima égale* (à grande vitesse par conséquent), que celui des autres systèmes ; mais en comparant, comme on doit le faire, les rendements *à vitesse des véhicules égale*, on trouve une infériorité sensible pour les moteurs « gearless ».

A tous les points de vue, ceux-ci n'ont donc pas de raison d'être

[1] Les moteurs pesaient environ le double des moteurs à simple réduction de même puissance. On trouvera leurs poids au chapitre v.

Digitized by Google

sur les tramways et on ne les retrouve plus aujourd'hui que sur les chemins de fer proprement dits, où on les a adaptés soit à des locomotives, décrites plus loin au chapitre VII, soit à des voitures automobiles.

L'exemple le plus célèbre de cette dernière application est celui des voitures à bogies du « Liverpool Overhead Railway », dont la figure 107 représente un des trucks muni de son moteur.

Le principe de la suspension est le même que celui indiqué par la figure 101; mais les inducteurs, étant en double fer à cheval, ont dû être assemblés avec un cadre extérieur en fonte portant les paliers; c'est celui-ci qui repose par ses extrémités sur des ressorts spiraux fixés au châssis.

Chaque bogie moteur pèse environ 6 t., dont 3 pour le moteur, qui développe 40 chevaux à la vitesse de 40 km · h.

Les voitures du métropolitain de Budapest, décrites au chapitre VI, présentent aussi des moteurs à action directe, suspendus comme celui de la figure 107.

Mais même sur les chemins de fer l'accouplement direct n'est avantageux qu'à des vitesses fort élevées, ainsi qu'il est facile de s'en rendre compte. En effet, un moteur n'est léger qu'à la condition de réaliser une vitesse voisine de la limite imposée par la force centrifuge. Or pour les induits dentés modernes, on peut atteindre sans danger des vitesses tangentielles de 25 mètres par seconde et 15 m. est un minimum; comme le diamètre de l'induit ne peut guère dépasser les 0,50 à 0,60 de celui de la roue, la vitesse minima qui s'en déduit est, en kilomètres à l'heure,

$$V = 3{,}6 \frac{15}{0{,}60} = 90 : \text{km} : \text{h}.$$

En réalité, si l'on tient compte du poids des engrenages et de la perte qu'ils occasionnent sur la puissance des moteurs, on peut admettre comme limite inférieure de l'emploi des moteurs à accouplement direct 70 km : h. Encore faut-il remarquer que dans la période de démarrage ils ont un rendement bien inférieur aux moteurs à simple réduction.

D'autre part, les engrenages ont atteint aujourd'hui une perfection suffisante pour pouvoir être acceptés même sur les chemins de fer. Leur intermédiaire présente même, à quelques égards, une certaine supériorité pratique sur la commande directe. L'emploi des bielles exige, en effet, beaucoup de place, et celui de l'arbre creux l'usage de ressorts très serrés et très puissants; l'arbre

Digitized by Google

creux ne peut être fait qu'en acier excellent, il rend difficile le maintien des coussinets à une basse température, il exige enfin le démontage des essieux en cas de réparation à l'armature. Au contraire, les engrenages permettent de retirer celle-ci facilement; eux-mêmes, étant divisés en deux pièces, se démontent sans qu'on ait besoin d'enlever les roues. Enfin, et c'est une considération qui ne manque pas d'importance pour les constructeurs, ils permettent, par un simple changement des roues dentées, de modifier le rapport de réduction et d'adapter, par suite, un même moteur à l'exploitation de lignes où la vitesse doit être différente.

C'est pour ces motifs qu'on voit employer à peu près exclusivement les engrenages aux États-Unis sur les lignes métropolitaines et suburbaines, bien que leurs coefficients de réduction soient très faibles (1,78 par exemple pour les moteurs G. E. 2000). Les moteurs « gearless » ne peuvent être bien justifiés que sur les trains de voyageurs à grande vitesse, avec arrêts peu fréquents.

**Relation entre la vitesse des voitures et le coefficient de réduction à choisir.** — Pour réaliser sensiblement la vitesse périphérique d'induit maxima admise $v$ (en m : s), on doit proportionner la réduction $\frac{1}{m}$ à la vitesse maxima des voitures V (en km : h.), et aux diamètres de l'induit $d$ et des roues D, suivant la relation

$$V = 3{,}6 \frac{D}{d} \frac{v}{m}$$

En admettant, comme plus haut, $v = 25$ m : s, on trouve les chiffres suivants :

| COEFFICIENT de réduction. | VITESSE MAXIMA DES VOITURES EN KM : H. | | | |
|---|---|---|---|---|
| | $d = 0{,}45$ | $d = 0{,}50$ D | $d = 0{,}55$ D | $d = 0{,}60$ D |
| 1 : 1,5 | 121,5 | 135 | 123,7 | 112,5 |
| 1 : 1,75 | 101,2 | 112,5 | 103,1 | 93,7 |
| 1 : 2 | 81 | 90 | 82,5 | 75 |
| 1 : 2,5 | 67,5 | 75 | 68,7 | 62,2 |
| 1 : 3 | 54 | 60 | 55 | 50 |
| 1 : 4 | 40,5 | 45 | 41,2 | 37,5 |
| 1 : 5 | 32,4 | 36 | 33 | 30 |

Ce sont là, bien entendu, des maxima, et pour la marche normale il convient de se tenir à des vitesses plus faibles de 20 p. 100.

Digitized by Google

# CHAPITRE V

## MOTEURS DE TRACTION

### § 1. — Évolution des types de moteurs de traction

Avant d'examiner les types modernes de moteurs de tramways, il est intéressant de jeter un coup d'œil sur ceux qui les ont précédés et de rappeler les étapes successives par lesquelles on est passé pour arriver à une construction vraiment rationnelle.

Au début, la plupart des constructeurs se préoccupaient seulement d'appliquer à la traction les moteurs fixes existants, sans se rendre compte des énormes à-coups mécaniques et électriques qu'ils devaient supporter dans cette nouvelle application, ni de la nécessité de les adapter à un truck séparé. La figure 110, qui représente une des premières voitures de Reckenzaun à vis sans fin, donne un exemple de ces locomoteurs improvisés avec un moteur d'atelier, dont on n'avait pas même supprimé le socle, cependant inutile. Bien des constructeurs européens ont suivi les mêmes errements jusqu'à une date récente.

L'idée de suspendre les moteurs aux essieux paraît due à *J. C. Henry* qui l'appliqua sur la ligne de Kansas City (Missouri), en 1884.

Le premier essai de moteur spécial logé dans un truck a été fait en 1886 sur la ligne expérimentale de Woonsocket par les compagnies Thomson-Houston et Bentley-Knight; ce moteur donnait 15 chevaux à 1 500 tours avec une réduction de 1/9 (24 kilomètres à l'heure). Depuis, tous les constructeurs américains ont adopté des trucks de ce genre; mais leurs moteurs restaient, au début, fort imparfaits : les vitesses s'accordaient mal avec le travail à fournir aux diverses allures ; le rendement, calculé seulement en vue de la

Digitized by Google

pleine puissance, était déplorable aux faibles charges ; le couple de démarrage, ou plutôt le courant maximum supporté par l'armature,

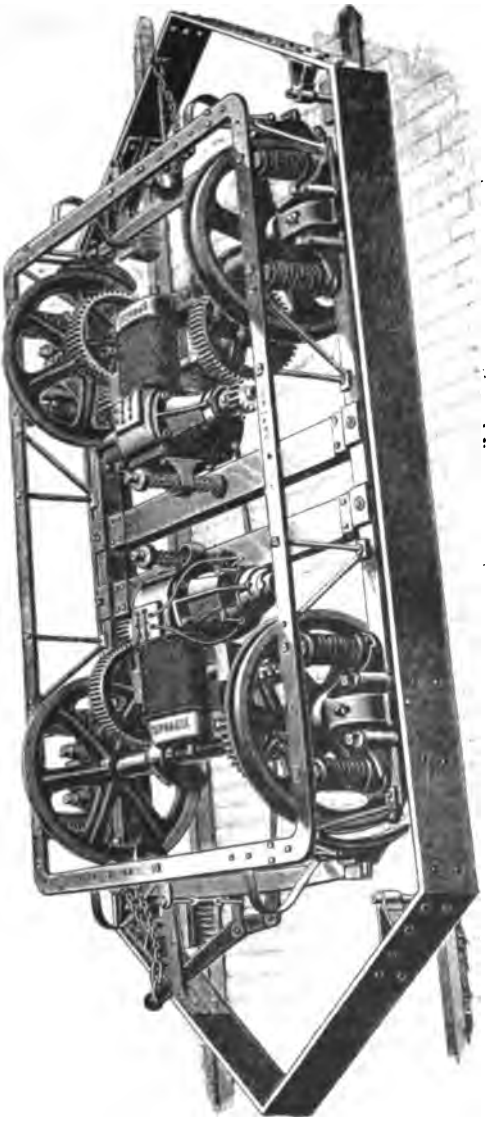


Fig. 108. — Truck Sprague complet avec moteurs à double réduction, type de 1888.

était insuffisant ; les étincelles aux balais étaient abondantes ; les organes étaient exposés à la boue, à la poussière, à l'humidité, et ces agents de destruction en amenaient rapidement l'usure. Ce

Digitized by Google

n'est que progressivement qu'on a éliminé ces divers inconvénients ; les types modernes imaginés en Amérique ne datent que de 1892 et il a fallu encore bien du temps pour répandre les mêmes perfectionnements dans les ateliers de construction européens.

**Anciens types à grande vitesse.** — L'usage du fer forgé pour la construction

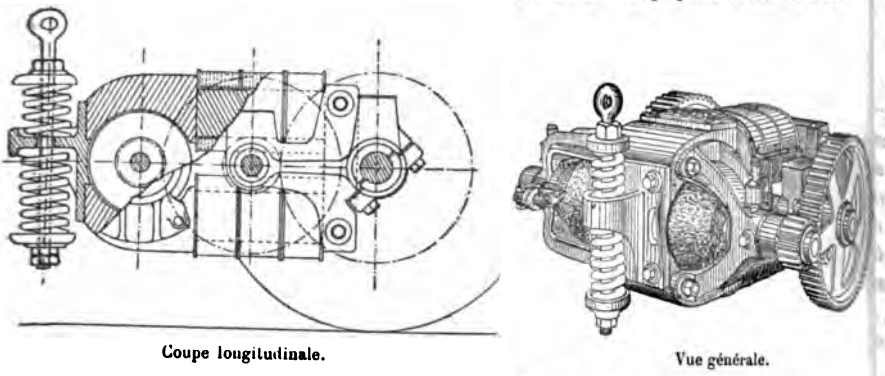



Fig. 109. — Ancien moteur Sprague à double réduction, type de 1888.

des inducteurs a pendant longtemps fait une nécessité de l'emploi de moteurs bipolaires, avec double réduction de vitesse ou vis sans fin. Ceux-ci ont été construits d'après les types les plus divers ; on en a surtout employé deux principaux :

1° Le type bipolaire *horizontal* à deux bobines inductrices, dérivé des

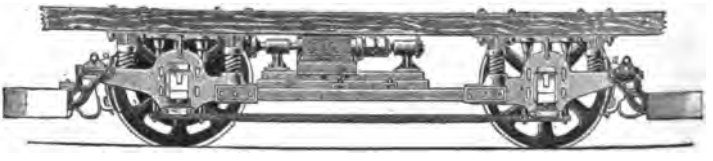


Fig. 110. — Première voiture de Reckenzaun.

moteurs Gramme type supérieur, et qui paraît avoir été adopté d'abord par Bentley et Knight en 1886 ; le plus célèbre représentant de ce type a été le moteur *Sprague* type F (fig. 108 et 109) de 1888 ; des moteurs analogues furent ensuite construits par la Cie Thomson-Houston, qui avait acheté les brevets Bentley-Knight, puis par la Cie Westinghouse et par plusieurs autres.

Un moteur Sprague plus ancien, qui figurait sur les voitures de Richmond[1]

[1] Ce moteur de 1886 était à simple réduction et à régulation série-parallèle, dispositions auxquelles on n'est revenu aujourd'hui qu'après un long détour.

Digitized by Google

(fig. 23, p. 21), se distinguait de celui-ci par la position des bobines inductrices placées perpendiculairement à l'axe de la voie; ce même type a été employé pour les moteurs à vis sans fin de Reckenzaun (fig. 82, p. 113), d'Oerlikon (fig. 80 et 81), etc...

2° Le type à *pôles conséquents* de Siemens et Halske, encore employé aujourd'hui, mais avec simple réduction, sur les voitures à chaînes de Budapest, Mulhouse, Bâle, etc., et imité par de nombreux constructeurs. La figure 111 donne les éléments de construction du moteur de Budapest. Daft, Field et Schlesinger ont adopté des dispositions plus ou moins analogues dans leurs premières locomotives antérieures à l'année 1889; la même forme d'inducteurs se retrouve encore sur les tramways du South Staffordshire et sur le chemin de fer élevé de Liverpool, mais elle est tout à fait démodée.

On peut citer aussi, comme ayant eu un nombre assez important d'applications, les moteurs van Depoele, type des petits moteurs Siemens et Halske à inducteurs en forme de mâchoires; les moteurs Short à anneau plat imités des machines Brush et Schuckert, et qui ont été construits d'abord avec deux puis avec quatre pôles; et en Europe

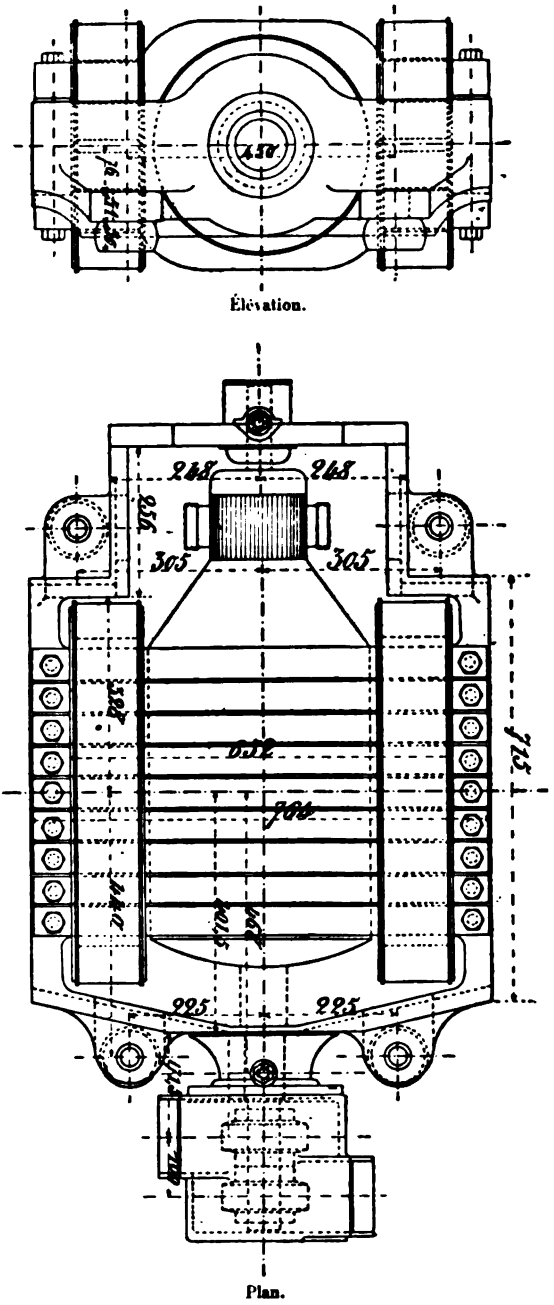



Fig. 111. — Moteur Siemens et Halske de Budapest. (Anciennes voitures.)

Digitized by Google

les moteurs Thury à pôles radiaux (fig. 112) qu'on peut voir encore sur les voitures de Clermont-Ferrand et de Dijon, les moteurs Averly, etc.

La forme d'induit en anneau plat, qui figure déjà dans la locomotive Raffard de 1883, quoique séduisante par la possibilité de donner à l'armature un diamètre maximum, présente un sérieux inconvénient pratique : il est difficile d'empêcher le jeu longitudinal de l'arbre dans les paliers et il faut par conséquent admettre des entrefers exagérés pour éviter sûrement le frottement de l'induit contre les inducteurs ; même avec cette précaution, tout

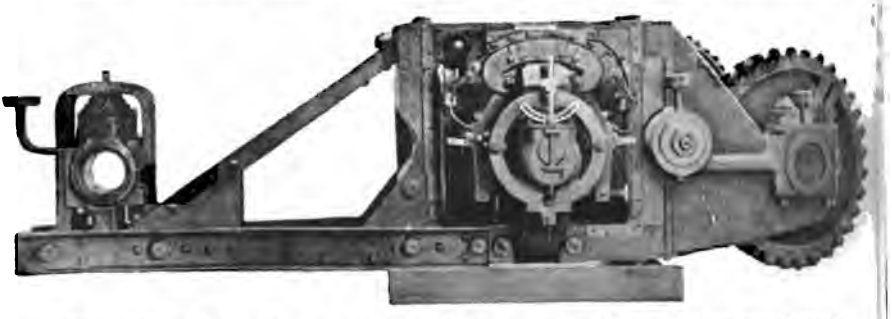


Fig. 112. — Moteur Thury à double réduction, type de Vevey et Clermont-Ferrand.

déplacement de l'induit amène une différence entre les attractions magnétiques sur ses deux faces, ce qui exige l'emploi de paliers de butée. Aussi le moteur à anneau plat, et *a fortiori* celui à induit disque, sont-ils abandonnés complètement aujourd'hui.

De tous ces types anciens, le plus répandu de beaucoup a été le premier, c'est-à-dire le moteur bipolaire horizontal, qu'on était arrivé à perfectionner et à construire avec une réelle solidité. Mais la forme de son circuit magnétique ne permettait pas de l'entourer d'une enveloppe protectrice en fer ou en fonte sous peine de dérivations exagérées ; on était même obligé, pour le suspendre par l'extrémité opposée à la culasse, de réunir les deux pièces polaires par une plaque de bronze portant le crochet d'attache (fig. 108). Ces moteurs étaient construits pour diverses puissances : le type courant était de 15 chev. à 1200 tours par minute ; le rendement final ne dépassait pas 60 p. 100. Ils étaient bobinés en anneau sur noyau lisse.

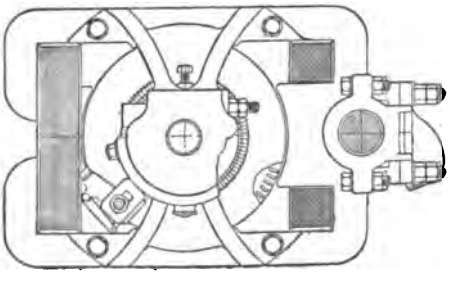


Fig. 113. — Moteur Wenstrom, premier type à simple réduction.

**Premiers moteurs à vitesse lente.** — En 1890, la compagnie *Wenstrom* établit le premier moteur à vitesse lente (fig. 113) ; ce moteur présentait plusieurs particularités nouvelles et importantes : emploi de quatre pôles au lieu de deux, réa-

Digitized by Google

lisation de deux pôles conséquents, inducteurs entourant complètement la périphérie de l'induit, armature munie d'encoches fermées dans lesquelles les bobines induites se trouvaient solidement maintenues, faible entrefer (1,5 mm.), emploi de deux balais seulement.

La vitesse normale de l'armature n'était que de 400 tours; la puissance maxima était de 25 chev. et le poids d'environ 1000 kg., engrenages non compris. Les trucks de la compagnie Wenstrom étaient équipés, soit avec un, soit avec deux moteurs; au début, on les a munis d'embrayages hydrauliques.

Des difficultés d'ordre purement financier empêchèrent le succès industriel du moteur Wenstrom; mais, sitôt connu, il fut imité par les principaux constructeurs de l'époque, les compagnies Edison-Sprague, Thomson-Houston,

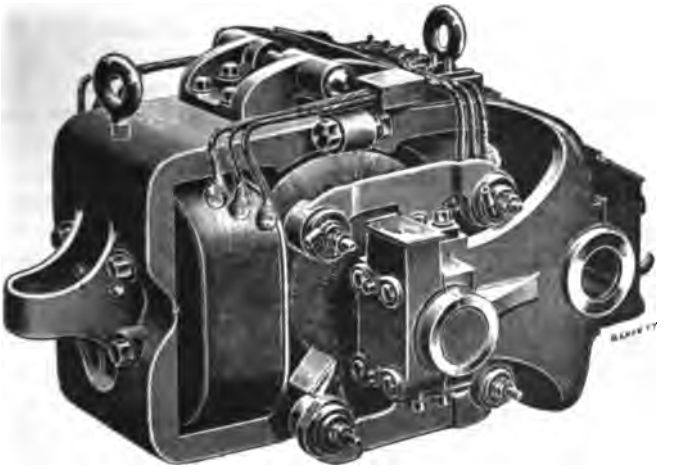


Fig. 114. — Moteur Edison-Sprague.

Westinghouse, Baxter, Wightman, etc. Les moteurs des trois premières ont reçu un très grand nombre d'applications en 1891 et 1892, et présentent des dispositions de principe assez intéressantes pour mériter une courte mention.

Le *moteur Edison-Sprague de* 1891 (fig. 114) était tétrapolaire, à pôles conséquents, comme le moteur Wenstrom; ses bobines inductrices étaient divisées en trois galettes pour la régulation. L'armature était un anneau Pacinotti de 0,45 m. de diamètre comportant 140 sections, réunies au collecteur par des fils de maillechort pour réduire les étincelles ; le collecteur de 0,25 m. de diamètre était muni de 4 balais en charbon calés à 90°.

L'un des côtés du rectangle inducteur, celui qui porte le palier d'essieu, était rapporté; l'armature se retirait en déboulonnant un des paliers.

Le moteur était construit pour les puissances de 15, 20, 25 et 30 chev. (principalement 15 et 25).

Le *moteur Thomson-Houston S. R. G., type* 1891 (fig. 138, p. 171) était du type bipolaire avec pôles à peine saillants et bobines inductrices fortement excavées, enveloppant presque complètement l'armature. Celle-ci était du type Gramme, à anneau lisse ordinaire, avec deux balais en charbon calés



Digitized by Google

horizontalement. La carcasse était formée de 3 parties : la base, les inducteurs, venus de fonte avec une console, et les paliers de l'armature et de l'essieu, le tout enfermé dans une enveloppe en tôle embrassant toute la partie inférieure.

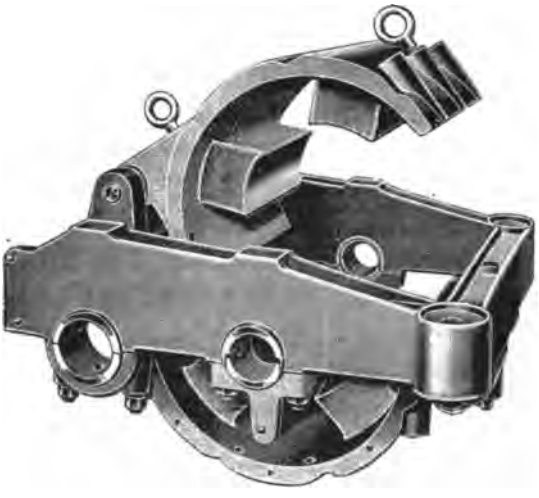


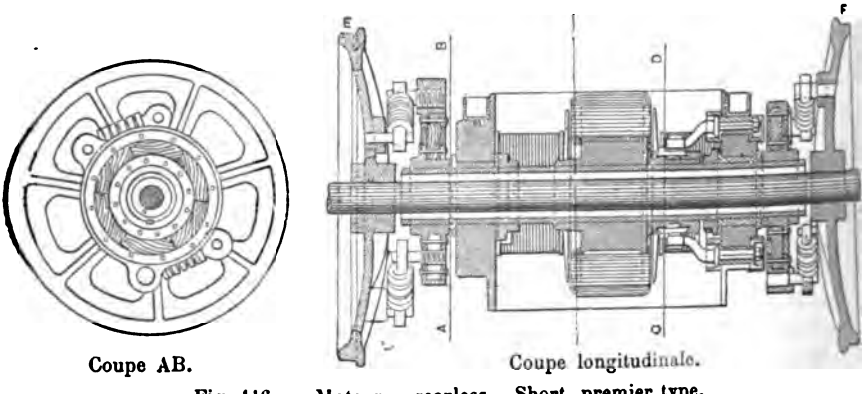
Fig. 115. — Moteur Westinghouse n° 3. Bâti inducteur.

Cet appareil a été construit pour les puissances de 15 et 25 chev.; la principale application en a été faite sur le grand réseau de la West End Street Railway Co, à Boston.

Le *moteur Westinghouse, type* 1891, dit n° 3, se distinguait par son système inducteur (fig. 115) de forme circulaire avec 4 pôles radiaux présentant une parfaite symétrie, supportés par un cadre horizontal formant bâti et munis de 4 bobines inductrices excavées.

L'induit en tambour denté était bobiné en série d'après un système analogue à celui d'Eickemeyer.

Pour permettre le démontage, les inducteurs étaient formés de deux parties




Coupe AB. Coupe longitudinale.

Fig. 116. — Moteur « gearless » Short, premier type.

symétriques articulées à charnières sur le bâti rectangulaire qui portait les paliers d'arbre et d'essieu.

Les dispositions de ces moteurs[1], qui en font trois types bien distincts, sont

[1] On trouvera plus de détails sur ces dispositions dans le *Street Railway Journal* de 1891.

Digitized by Google

plus ou moins imitées dans tous les moteurs cuirassés étanches que l'on construit aujourd'hui, ce qui rend inutile d'en citer d'autres.

**Premiers moteurs sans réduction.** — En présence du succès de Wenstrom, on passa bientôt d'un excès à l'autre et on voulut réaliser des moteurs à vitesse plus lente encore, pouvant s'accoupler directement à l'essieu comme ceux des locomotives, décrites plus loin, du City and South London Railway inauguré en 1890. En 1890 et 1891 tous les grands constructeurs américains brevetèrent des appareils de ce genre. Parmi ceux qui furent réellement l'objet d'applications pratiques, il convient de citer ceux de Short et d'Eickemeyer, à cause des éléments nouveaux de progrès qu'ils ont apportés.

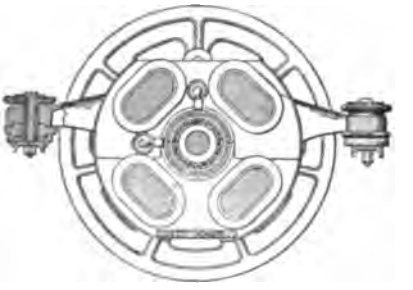


Fig. 117. — Moteur « gearless » Short, premier type. — Coupe transversale.

Le premier *moteur « gearless » Short* 1890 (fig. 116 et 117) était à anneau plat, suivant la pratique de ce constructeur ; il exigeait des roues de 0,90 m.,

Fig. 118. — Second type Short.

ne donnait que 0,60 de rendement et ne pesait pas moins de 3200 kg. pour 25 chevaux.

Le second type (fig. 118) ne pesait plus que 1350 kg.

Les inconvénients de cette forme d'induit ont finalement amené cet inventeur à y renoncer et son dernier modèle (fig. 119), présenté en 1892 au Congrès des tramways américains, était un moteur hexapolaire à pôles radiaux et induit en tambour, ne se distinguant des types à simple réduction qui viennent d'être cités que par le nombre de pôles plus grand et les dimensions plus considérables. Celles-ci étaient : longueur 1,02 m., largeur 0,95 m., hauteur 0,66 m. L'armature, de 0,52 m. de diamètre, était à noyau denté avec 92 sections de

Digitized by Google

16 tours chacune bobinées en série ; chaque spire était formée de trois rubans de cuivre superposés et placés de champ dans les rainures, et le collecteur était à 184 barres, avec 2 balais diamétralement opposés. Ce moteur donnait une puissance de 20 chev. à la vitesse de 120 tours par minute et réalisait un rendement maximum de 0,75 ; son poids était d'environ 1200 kg.

La disposition donnée aux inducteurs à 6 pôles, dont 3 conséquents et 3 munis d'enroulements, mérite d'être appréciée comme une idée heureuse et digne d'être retenue pour les locomotives électriques de chemins de fer à grande vitesse ; la forme triangulaire qui en résulte pour la carcasse permet en effet de lui donner d'assez grandes dimensions sans être obligé d'augmenter celle des roues et se prête bien au démontage.

Fig. 119. — Troisième type Short.

Celui-ci, qui constitue une des particularités ingénieuses du moteur Short, s'opère de la manière suivante. La carcasse des inducteurs est divisée en deux parties assemblées par des boulons, celle du bas coulée en une seule pièce ne présentant aucune ouverture jusqu'à l'axe ; il suffit de dévisser les boulons pour pouvoir descendre la partie inférieure dans une fosse et visiter l'intérieur du moteur ; en outre, si on dévisse les boulons qui maintiennent les paliers de l'arbre creux, celui-ci, avec l'armature qu'il porte, vient reposer sur l'essieu, tandis que la demi-carcasse supérieure reste fixée au truck ; on soulève alors ce dernier pour dégager l'essieu des plaques de garde, et on n'a plus qu'à faire rouler sur la voie les deux roues qui le supportent jusqu'à l'atelier de réparation pour substituer à cet ensemble un nouvel équipage muni d'une armature en bon état.

Cette disposition, ainsi que l'arbre creux de M. Raffard, ont été conservés

Digitized by Google

dans la locomotive du Baltimore and Ohio Railroad dont on trouvera la description détaillée dans le chapitre des locomotives.

Le *moteur Eickemeyer de* 1891 (fig. 120) présentait de son côté des dispositions originales, dont plusieurs ont été reproduites par de nombreux constructeurs et qui méritent de fixer l'attention. C'était tout d'abord la forme du système inducteur bipolaire formant enveloppe autour de l'induit et excité par une seule bobine ; celle-ci embrassait l'armature et était formée de deux moitiés recourbées sur les petits côtés pour laisser une place libre à l'arbre. Cette disposition assure le passage du flux total à travers l'induit, ce qui rend les fuites magnétiques sans inconvénient et permet, avec une excitation peu con-

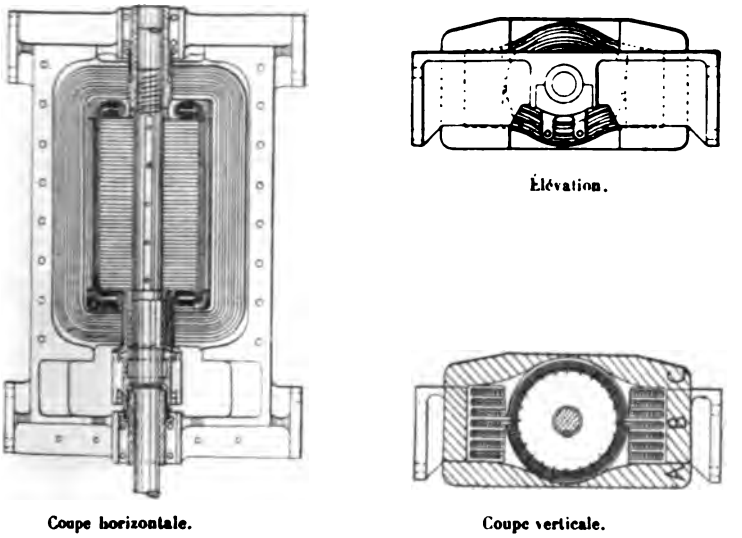



Fig. 120. — Moteur « gearless » Eickemeyer pour tramways (1891).

sidérable, de saturer le fer induit. La cuirasse était formée de trois parties A,B,C, et les parties centrales étaient en deux pièces, portant dans leur prolongement les boîtes à graisse des deux essieux ; la suspension était constituée par des ressorts à boudins ; tous les organes étaient accessibles et facilement démontables.

En second lieu, l'induit Eickemeyer était bobiné en tambour sans recouvrement des fils sur les bases, suivant le système bien connu Edison-Eickemeyer (1890), qui consiste dans l'emploi de bobines préparées à l'avance sur une forme ; ces bobines, toutes interchangeables, sont mises en place sur le noyau d'armature suivant un ordre convenable, séparées par des cales, puis maintenues par des frettes solides. Grâce à leur forme spéciale, leurs petits côtés viennent se juxtaposer sur les bases du tambour sans se recouvrir. Dans les premières applications, le noyau d'induit était lisse, mais dans ses derniers moteurs Eickemeyer avait adopté un noyau denté.

Son type normal, pesant 1 800 kg., adapté à des roues de 0,66 m., donnait, à la vitesse de 160 tours par minute, une puissance de 25 chev. ; le rendement

Digitized by Google

dépassait 70 p. 100 pour les vitesses comprises entre 130 et 180 tours par minute et atteignait 80 p. 100 à 230 tours.

Le moteur « gearless » de la compagnie Westinghouse, monté sur l'essieu, différait peu du précédent comme mode de construction[1] et il ne présente plus assez d'intérêt pour que nous le décrivions ici. Van Depoele, le docteur Hopkinson, M. Bonneau en France, etc...,ont breveté aussi vers la même époque des types de moteurs « gearless », qui n'ont été l'objet d'aucune application industrielle[2]. La compagnie Thomson-Houston a projeté elle-même un moteur à action directe (Bassett, 1892) semblable à son moteur W. P. décrit plus loin, mais monté sur arbre creux.

C'est à peu près à la même époque qu'ont été construits par M. T. Parker

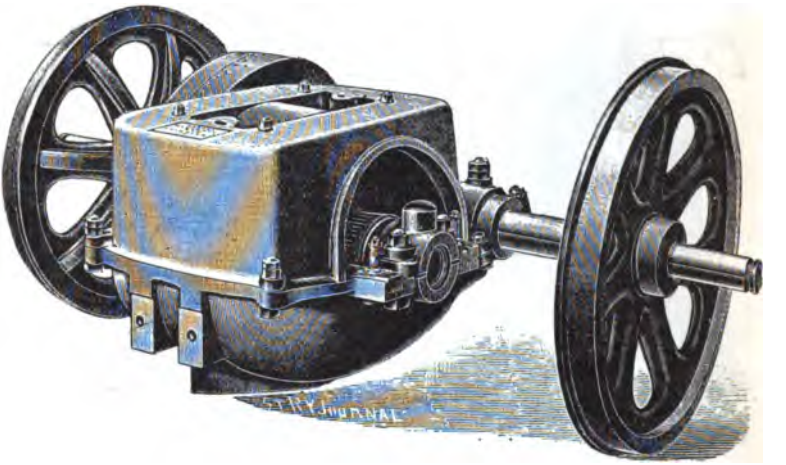


Fig. 121. — Moteur W. P. (Water-Proof) de la compagnie Thomson-Houston (fermé).

les moteurs à commande directe du métropolitain de Liverpool, dont nous avons donné plus haut les dispositions générales (fig. 107, p. 137); ces moteurs, encore en service, sont du type bipolaire à pôles conséquents, inducteurs en double fer à cheval et induit en tambour bobiné d'après la méthode Eickemeyer. Ils développent d'une façon prolongée 40 chevaux à la vitesse de 40 km. à l'heure et peuvent produire sous 100 ampères un effort de 725 kg. à la jante de roues de 0,84 m. Comme on le verra plus loin, leur rendement atteint 85 p. 100, ce qui est un résultat très satisfaisant; mais leur poids n'est pas inférieur à 3 tonnes, tandis qu'un moteur à simple réduction de même puissance n'en pèserait que 1,6 à 2.

Nous ne reviendrons pas ici sur les critiques que nous avons formulées plus haut (p. 138) contre ces moteurs à attaque directe et sur la détermination de leurs cas d'emploi rationnel.

[1] Voir le *Street Railway Journal*, 1891.
[2] Voir la *Lumière Électrique*, 1891, 2e volume, p. 25, et 4e volume, p. 213; ibid. 1893, 1er volume, p. 13 et 469.

Digitized by Google

Ils ont en tout cas contribué dans une mesure très utile au progrès de la traction électrique en introduisant dans la construction des moteurs à vitesse lente des méthodes nouvelles : le bobinage mécanique des induits et la fermeture de la carcasse inductrice.

**Premiers moteurs cuirassés.** — Dans les premiers types à simple réduction,

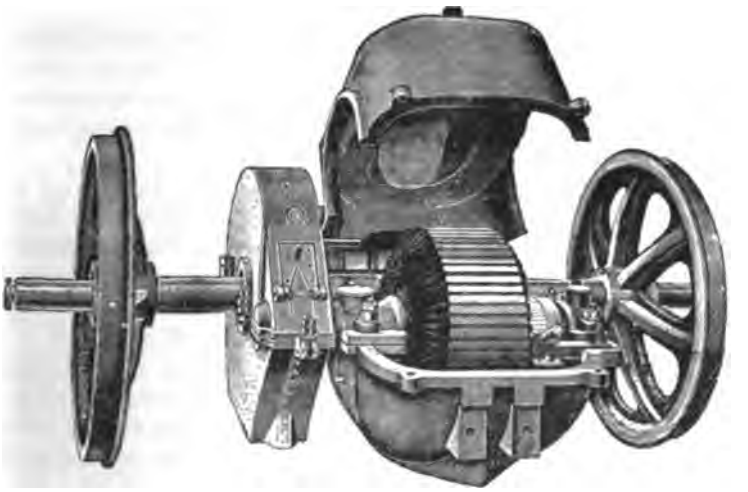


Fig. 122. — Moteur W. P. (ouvert).

décrits ci-dessus, on préservait les moteurs contre la poussière et l'humidité par une enveloppe en tôle fixée après coup autour de l'appareil à l'aide de boulons ; mais cette enveloppe n'était jamais bien étanche et ses boulons se desserraient fréquemment par l'effet des trépidations. Peu à peu, grâce à l'emploi de l'acier doux, on l'a remplacée par des extensions de la carcasse elle-même, fermées d'abord incomplètement, puis enfin absolument continues. Le premier type ainsi « cuirassé » a été établi par la compagnie Thomson-Houston en 1891 sous le nom de moteur *Water-Proof* ou W. P. Les nombreuses applications qu'il a reçues en Amérique et son emploi à l'heure actuelle sur plusieurs lignes européennes, notamment celle de Bordeaux-Bouscat, en appellent une description sommaire.

Le *moteur W. P.* 1891. (fig. 121 et 122) dérive du moteur S. R. G., et est comme lui bipolaire ; mais, dans le but de simplifier l'entretien, on a réduit l'enroulement inducteur à une seule bobine, placée à la partie supérieure, et le pôle inférieur est à peine marqué. Bien qu'il se produise d'importantes fuites magnétiques autour de l'armature, elles n'empêchent pas le bon fonctionnement et soulèvent l'armature assez pour soulager presque utilement les paliers. L'induit, qui occupe toute la hauteur du moteur, est constitué par un anneau denté Pacinotti d'environ 0,50 m. de diamètre, en tôle feuilletée, ayant pour section diamétrale environ 7,5 × 7,5 cm. Les sections, au nombre de 64, sont composées de 14 spires logées dans des dentures en queues d'hironde où chaque section est maintenue par des coins en bois.

Digitized by Google

Les deux balais, calés suivant le diamètre horizontal, sont placés dans un porte-balais fixé au bâti et qu'on peut détacher et enlever à volonté pour visiter les balais en donnant simplement un quart de tour au manche dont il est muni.

La carcasse qui forme le système inducteur enveloppe le moteur d'une manière complètement étanche, sauf près de l'arbre où il existe des ouvertures ovales, qui, du reste, peuvent être fermées également lorsqu'on le juge nécessaire ; elle consiste en deux coquilles se joignant suivant un plan horizontal à hauteur de l'essieu et de l'axe. La partie supérieure est articulée à l'aide de charnières, qui permettent de l'ouvrir pour visiter l'intérieur et remplacer au besoin la bobine inductrice. La partie inférieure porte les paliers d'essieu et les paliers d'arbre ; elle forme chasse-pierres.

Pour démonter le moteur, il suffit d'enlever les quatre boulons qui retiennent la partie supérieure pour pouvoir soulever celle-ci à travers la trappe de la voiture, ce qui permet de changer la bobine ; ou bien l'on peut laisser basculer dans la fosse la coquille inférieure, et enlever l'armature en dévissant les chapeaux des paliers.

Ces moteurs étaient construits en deux puissances : 15 et 25 chev.

Pour les voies de largeur inférieure à la voie normale et les voitures de faible capacité, la même compagnie avait créé un modèle du même type que le précédent, donnant un effort de traction de 250 livres = 113 kg. à la jante de roues de 20 pouces (0,50 m.). Ce moteur marchait aux tensions de 200 à 250 volts. Son faible poids, 300 kg., et sa longueur très réduite, 0,38 m., permettaient de l'employer sur des voies très étroites, descendant jusqu'à 0,45 m.

Ces moteurs cuirassés furent imités aussitôt par les autres compagnies en Amérique et en Europe ; bientôt, on les perfectionna en supprimant toute ouverture sur les côtés, sauf pour les moteurs très puissants, et, malgré l'échauffement plus grand des organes qui en résulte, cette disposition a reçu aujourd'hui la sanction de la pratique. Depuis 1892, il n'a plus été apporté aux moteurs que des perfectionnements de détails, qui trouveront leur place dans le paragraphe qui suit.

## § 2. — Dispositions des moteurs modernes

Pour bien comprendre les principes qui gouvernent aujourd'hui la construction des moteurs de traction, le mieux est de passer en revue les sujétions d'ordre soit mécanique, soit électrique, aux-

Digitized by Google

quelles ces moteurs sont soumis du fait de leur position par rapport à la voiture et du service qu'ils ont à faire.

**Conditions à remplir au point de vue mécanique.** — Bien qu'elles soient faciles à concevoir, ces conditions méritent un examen sérieux à cause de leur importance.

1° *Construction compacte.* — Le moteur de traction ordinaire doit être assez ramassé pour trouver place dans le truck entre la caisse de la voiture et la voie ; pour éviter qu'il vienne heurter les obstacles placés sur celle-ci, tels que pierres ou objets quelconques, il est bon de laisser au-dessus de la voie un espace libre de 8 à 10 cm. On est obligé d'augmenter ce jeu dans les lignes à distribution superficielle pour laisser place aux frotteurs; les moteurs des voitures du tramway de Paris à Romainville sont ainsi à 0,15 m. au-dessus du niveau des rails. On peut du reste munir la carcasse du moteur d'un chasse-pierres, comme on l'a fait dans certains types américains.

Les dimensions du moteur sont limitées en hauteur par le diamètre des roues, discuté plus haut, en longueur par l'écartement des essieux, qui ne dépasse pas en général 1,80 à 2 m., et enfin en largeur par l'écartement des rails. On doit donc employer des types différents suivant la dimension de la voie ; par exemple le moteur G.E. 800, dit « de 25 chevaux », qui est le plus couramment employé par la General Electric Co., ne s'applique pas aux voies de 1 m. et au-dessous, tandis que le moteur G.E. 54, qui correspond à la même puissance, peut être employé aisément sur ces voies.

La voie de 1,00 m. est très peu favorable à ce point de vue pour un métropolitain, car elle ne permet pas de réaliser des locomotives puissantes comme celles qu'on peut inscrire sur une voie normale. Elle devrait être réservée aux tramways et aux chemins de fer secondaires; pour ceux-ci on a pu descendre jusqu'à 0,785 m. (réseau de la Haute-Silésie).

Lorsqu'on emploie deux moteurs par truck, leur forme extérieure peut être cylindrique ou rectangulaire ; si l'on se contente, au contraire, d'un seul aussi puissant que les deux précédents réunis,

Digitized by Google

on est conduit soit à lui donner une forme très aplatie (types Siemens, Eickemeyer, etc.), soit à disposer l'arbre du moteur parallèlement à la voie (type Sperry).

Enfin lorsqu'on veut multiplier beaucoup le nombre des moteurs, par exemple sur les locomotives puissantes, on est conduit à les faire très étroits et très hauts.

2° *Préservation des organes.* — La situation des moteurs les expose à la poussière, à la pluie, à la boue et à la neige ; s'ils n'étaient pas protégés convenablement, non seulement la poussière encrasserait tous les organes et les engrenages dont elle amènerait rapidement l'usure, mais encore il serait à craindre que des éclats de bois ou de pierre, ou des pièces de fer attirées par les inducteurs, vinssent se loger entre les pièces polaires et l'armature. Les effets de l'humidité sont plus graves encore au point de vue de la conservation des isolants ; en hiver, les bobines d'inducteurs mouillées par le contact de la neige seraient rapidement brûlées et mises hors de service.

Pour tous ces motifs, il est fort utile d'entourer les moteurs d'une enveloppe protectrice qui les mette à l'abri de la poussière et des intempéries, et d'enfermer les engrenages dans une boîte à huile étanche, comme nous l'avons indiqué plus haut.

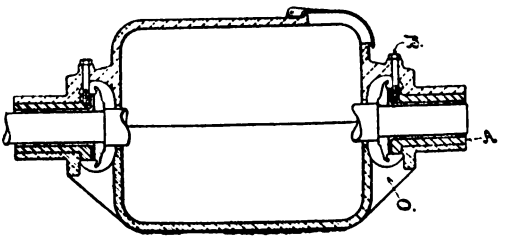


Fig. 123. — Enveloppe et paliers des moteurs Walker. A, coussinet. — O, évent. — B, goupille retenant le coussinet.

Il faut en outre empêcher l'huile des paliers de pénétrer le long de l'arbre dans l'intérieur du moteur, où elle peut amener des courts circuits, notamment entre les lames du collecteur. Dans ce but, on doit recueillir cette huile par une gouttière munie d'un bon orifice d'évacuation ; dans la plupart des types américains, on met pour ce motif les paliers en dehors du moteur (fig. 123) ; un large évent placé à la partie inférieure empêche absolument toute introduction d'huile dans l'intérieur de la cuirasse.

3° *Accessibilité et remplacement facile des organes.* — Bien que

Digitized by Google

les chances d'avaries aient bien diminué, il n'en est pas moins nécessaire de pouvoir très facilement visiter toutes les parties du moteur et remplacer les organes détériorés, bobines inductrices ou armature ; c'est là une condition essentielle pour une bonne exploitation. On doit y satisfaire par une disposition convenable du bâti et de l'enveloppe du moteur.

Les balais et le collecteur, qui sont les organes les plus délicats, doivent pouvoir être inspectés, même pendant la marche, de l'in-

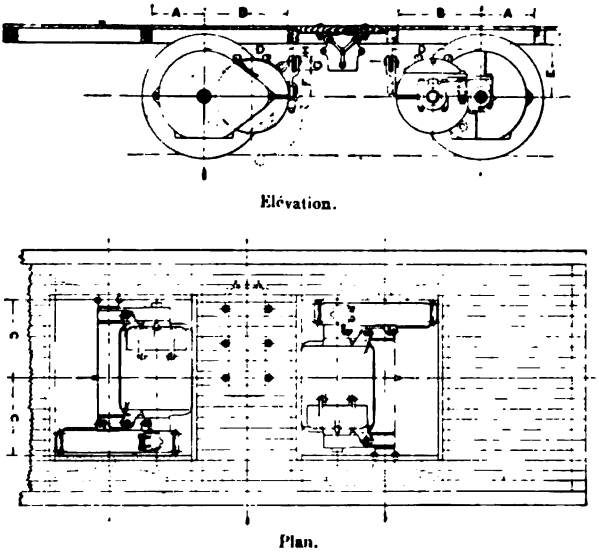



Fig. 124. — Disposition des trappes d'une voiture de tramway pour la visite et le démontage des moteurs (matériel Walker.)

térieur de la voiture, par des trappes pratiquées dans le plancher (fig. 124). Un collecteur à 500 volts demande en effet un entretien soigné, et il faut qu'on puisse le nettoyer fréquemment et remplacer les balais lorsqu'il en est besoin ; ce changement doit pouvoir se faire en quelques minutes, de façon à ne pas impatienter le public si un accident se produit en service.

En cas d'avarie, l'armature et les bobines doivent être faciles à démonter et à remplacer. Le démontage se fait ordinairement sur fosse dans les remises. Si l'on ne dispose pas de cette ressource ni d'un pont roulant, il est bon de construire le moteur de façon à pouvoir opérer autrement, et retirer les pièces par les trappes.

Digitized by Google

Dans tous les cas, on doit faire en sorte que les bobines de champ puissent être remplacées très rapidement sans qu'il soit nécessaire de démonter l'armature.

Pour faciliter le remplacement des organes détériorés, il est absolument nécessaire qu'ils soient tous construits par séries et parfaitement interchangeables ; les bobines et les armatures doivent être approvisionnées en nombre suffisant pour parer à toute éventualité. Pour faciliter les changements d'arbre de l'induit, les bons constructeurs ont même soin de monter leurs armatures en tambour sur un arbre creux A (fig. 125) qu'on enfile sur l'arbre plein B ; une simple bague O, qu'on visse sur une portée taraudée, permet de solidariser les deux arbres et de maintenir l'induit en place.

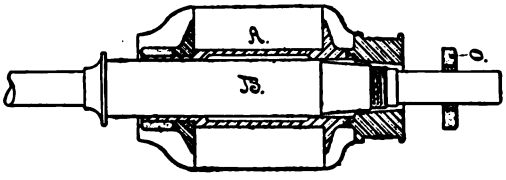


Fig. 125. — Induit Walker à arbre creux.

La rapidité des réparations étant une condition capitale pour la bonne utilisation du matériel, le meilleur moteur pour un exploitant est celui qui se prête le mieux à la visite de tous ses organes et dont le démontage est le plus rapide. Il en est de même pour les engrenages ; leurs roues d'essieu doivent être en deux pièces pour permettre de les retirer facilement.

4° *Solidité et résistance aux conditions d'emploi.* — Il va sans dire que la construction doit être particulièrement robuste. Les deux causes de détérioration qui sont le plus à craindre, à des points de vue divers, sont les efforts mécaniques et les trépidations (surtout dans les moteurs à suspension imparfaitement élastique).

On aura une bonne idée de ces efforts en remarquant qu'un fil de 1 m. soumis à un champ de 10 000 c. g. s. ou 1 maxwell par m², (chiffre qu'on atteint dans la pratique des tramways) et parcouru par un courant de 1 amp. est soumis à une force de 0,12 kg. Les fils des moteurs de tramways supportent ainsi des efforts tangentiels de plusieurs kilogrammes en régime normal, et ces efforts sont encore exagérés au démarrage et au moment des à-coup qui se produisent à tous les changements de vitesse.

Digitized by Google

Pour résister à ces efforts mécaniques et aux trépidations, le moteur doit être construit avec des soins particuliers, l'induit bien claveté; les fils doivent être entraînés par des saillies des tôles de l'induit ou mieux logés dans des rainures et bien calés, de façon à ne pouvoir prendre de jeu; les *induits dentés* sont aujourd'hui adoptés presque partout et présentent seuls les conditions qu'on est en droit d'exiger. Leur emploi est motivé plus par cette considération mécanique que par le désir de réduire l'entrefer. Les soudures des fils aux barres du collecteur doivent être faites avec un soin particulier; quelquefois, on a préféré employer des fils de connexion souples plutôt que des lames de cuivre, pour éviter des ruptures par changement de structure du métal. Enfin les arbres et les paliers doivent être très robustes, et la lubrification de ceux-ci doit être parfaitement assurée.

5° *Préservation de l'humidité.* — L'emploi d'enveloppes étanches n'est pas suffisant; pour être à l'épreuve de l'humidité, les bobinages doivent tous présenter un isolement supérieur, comme s'il s'agissait de machines à haute tension. Aussi les essaye-t-on dans les ateliers à l'aide de courants alternatifs à la tension de 2000 à 5000 volts, le fil de la bobine étant relié à l'un des pôles et le noyau de fer doux à l'autre; il ne doit se produire aucune rupture d'isolant. Tous les enroulements inducteurs et induits doivent être soigneusement séchés à l'étuve après la fabrication, ainsi qu'après toute réparation.

**Conditions qui influent sur les dispositions électriques.** — Ces conditions sont assez nombreuses et complexes, et quelques-unes sont particulièrement difficiles à remplir.

1° *Faible poids et faible vitesse.* — Il n'est pas besoin de revenir sur l'utilité des faibles vitesses, ni d'insister sur la nécessité de réduire le poids au minimum, pour diminuer non seulement le poids mort, mais encore le prix d'achat; les frais d'installation et d'entretien de la voie sont aussi fonction du poids du moteur.

La difficulté est de concilier ces deux conditions, c'est-à-dire de construire un moteur à marche suffisamment lente, ayant une grande puissance spécifique. Pour se rapprocher autant que pos-

Digitized by Google

sible du résultat cherché, on doit utiliser chaque partie, chaque organe au maximum.

*a*). Cela conduit tout d'abord à employer les meilleurs matériaux comme fer et comme cuivre. L'induit doit être en tôle la plus douce possible et bien recuite [1], et les inducteurs en métal très perméable. L'acier doux présente à ce point de vue une véritable supériorité sur tous les autres matériaux : aussi perméable que le fer forgé, il se coule facilement suivant les formes les plus compliquées.

Pour bien utiliser le métal des inducteurs, on le sature à pleine charge, tout en évitant les fuites magnétiques [2] : dans ce but, on doit employer des circuits magnétiques courts et peu résistants, et placer les bobines inductrices sur des *pôles radiaux*, à proximité immédiate de l'armature, en leur faisant même entourer celle-ci autant que possible. Enfin on peut donner à l'entrefer la valeur qu'on veut par l'emploi d'induits dentés ; il y a avantage à ce qu'il soit faible, pour réduire les fuites, sans toutefois descendre au dessous de 3 mm, de peur que l'usure des coussinets n'amène l'armature au contact des pièces polaires.

*b*). Il faut en outre donner à l'induit la plus grande vitesse tangentielle compatible avec la vitesse angulaire donnée.

On sait, en effet, que, lorsqu'un conducteur se déplace dans un champ magnétique, la force électromotrice induite dont il est le siège, et par suite le travail qu'il produit, sont d'autant plus grands que la vitesse de déplacement est plus grande. Les fils utiles de l'armature étant tous sur la périphérie, on obtient donc, à nombre de fils égal, la plus grande puissance possible en réalisant la plus grande vitesse tangentielle possible, sans dépasser une certaine limite imposée par la résistance des matériaux et la solidité du frettage en présence de la force centrifuge.

On ne peut pas toujours atteindre cette limite pour les moteurs

[1] Pour éviter la place perdue, on n'isole pas, en Amérique, les tôles par du papier, mais simplement par une mince couche d'oxyde obtenue en les passant au four.

[2] Les fuites magnétiques présenteraient du reste un inconvénient grave, celui d'agir à l'extérieur et d'attirer de menus objets en fer tels que clous, aiguilles, plumes, jusque dans l'entrefer où leur présence amènerait des avaries. Les types cuirassés présentent à ce point de vue un grand avantage, car s'il y a des fuites, elles n'ont en tout cas aucune action à l'extérieur.

Digitized by Google

de tramways, car leur vitesse angulaire est fixée par les conditions de l'exploitation, tandis que le diamètre de l'armature est limité par l'emplacement dont on dispose. Pour les moteurs de tramways à simple réduction, qui tournent à 400 ou 500 tours et dont le diamètre d'induit ne dépasse pas d'ordinaire 0,40 m., la vitesse tangentielle n'est pas supérieure à 10 m. par seconde, tandis que la limite pour les induits dentés peut atteindre 25 m. (p. 139).

On peut donc recommander, en général, sauf sur les chemins de fer à grande vitesse, lorsqu'on n'y emploie pas des moteurs sans réduction, de donner aux armatures le plus grand diamètre possible.

*c*). Enfin on a pu réduire le poids du fer par l'emploi de types multipolaires.

Considérons un induit donné, dans les fils duquel passera normalement un courant I. Soit N le nombre total de ces fils, $n$ le nombre de tours par seconde de l'induit supposé constant. Employons d'abord des inducteurs bipolaires et soit $\Phi$ le flux admis dans l'armature ; la force électromotrice induite dans l'armature a, comme on le sait, pour valeur

$$E = Nn\Phi.$$

I étant le courant total de l'*armature*, la puissance que peut fournir le moteur est

$$P = I \times Nn\Phi.$$

Remplaçons ce système inducteur par un système à $2p$ pôles, émettant chacun un flux $\Phi'$.

Le courant dans chaque fil restant le même que précédemment, la puissance a pour nouvelle valeur

$$P' = I \times Npn\Phi'.$$

Pour avoir la même puissance il suffit donc de prendre

$$\Phi' = \frac{1}{p}\Phi,$$

c'est-à-dire que dans la machine multipolaire le flux, et par suite la section du fer inducteur et celle du fer induit, peuvent être réduits dans le rapport $\frac{1}{p}$. Le moteur se trouve ainsi considérablement allégé ; mais, au lieu de deux bobines inductrices, il en faudra $2p$, ayant

Digitized by Google

même nombre de tours de fil que les premières. La difficulté de les loger et le nombre des touches au collecteur limitent le nombre de pôles ; on ne peut guère en pratique dépasser 4 ou 6.

La forme multipolaire a en outre l'avantage de réduire la largeur de chaque pièce polaire et, par suite, la réaction d'induit, qui en est fonction.

Si elle a tardé à être adoptée, c'est que l'emploi du fer forgé pour les inducteurs permettait difficilement de la réaliser; c'est seulement l'introduction de l'acier doux fondu dans l'industrie de la dynamo qui a permis d'arriver aux types actuels, à inducteurs multipolaires et complètement fermés.

2° *Conservation du collecteur.* — Le collecteur est l'organe délicat des dynamos en général et des moteurs de tramways plus particulièrement. Lorsqu'un commutateur est dégradé par les étincelles, il faut enlever l'induit et donner un coup de tour au collecteur. Au bout d'un certain temps, celui-ci est usé et doit être remplacé, opération délicate et dispendieuse.

C'était donc une question vitale pour la traction électrique que de supprimer les étincelles, sans recourir au procédé ordinaire du décalage des balais, auquel les continuels changements de régime ne pouvaient permettre de songer.

Il fallait du reste renoncer au décalage pour pouvoir faire marcher à volonté les voitures dans un sens ou dans l'autre [1].

On y est arrivé par les moyens suivants :

a) *Grand nombre de touches au collecteur.* — On n'admet pas moins de 85 à 90 touches au collecteur pour un induit tétrapolaire à 500 volts, et on a avantage à dépasser ce chiffre. Les artifices de bobinage indiqués plus loin permettent de le faire sans trop multiplier les sections de l'induit.

b) *Emploi de balais en charbon.* — Edison avait employé dans ses moteurs de tramways un moyen ingénieux consistant à relier les

[1] Dans le cas, fort rare heureusement, où l'on emploie encore pour la traction électrique le vieux type de voiture à un seul sens de marche, la même obligation ne s'impose pas. On peut alors donner aux balais un décalage moyen en avant dans le sens de la rotation (solution adoptée, par exemple, sur la ligne de Paris à Romainville). Mais lorsqu'on fait usage des moteurs comme freins, ce décalage donne lieu à des gerbes d'étincelles.

Digitized by Google

extrémités des sections au collecteur, non par des lames de cuivre, mais par des fils de maillechort assez résistants : lorsque les deux touches auxquelles aboutissent les extrémités d'une section sont mises en contact par le balai, la résistance du court circuit formé comprend non seulement la section, mais les deux fils de maillechort; le courant qui s'établit ne peut donc prendre qu'une valeur relativement très réduite. Ce dispositif a donné de bons résultats, mais il est assez compliqué et réduit un peu le rendement.

Aujourd'hui, on arrive au même résultat plus simplement par l'emploi de *balais en charbon*, qui, grâce à leur résistance spécifique beaucoup plus grande que celle des balais en cuivre, réduisent l'intensité du courant qui les parcourt transversalement entre deux touches du collecteur pendant la mise hors circuit de la section qui aboutit à ces deux touches. L'usure du métal se trouve réduite d'ailleurs par le fait que l'étincelle se forme en grande partie aux dépens du charbon.

c). *Faible rapport de la réaction d'induit à l'excitation des inducteurs.* — L'emploi des balais en charbon ne peut suffire à prévenir les effets destructifs des étincelles que si la ligne neutre, c'est-à-dire la direction suivant laquelle une spire de l'induit n'est le siège d'aucune force électromotrice, reste à peu près invariable à tous les régimes. On sait que les spires de l'induit parcourues par le courant utile produisent un flux de réaction transversal[1] qui déplace la ligne neutre de quantités croissantes avec le courant.

Pour réduire ce déplacement au minimum et éviter les crachements aux balais, même lorsque le courant dépasse sa valeur normale, il faut, toutes choses égales d'ailleurs, mettre le moins d'ampères-tours possible sur l'armature relativement au flux inducteur; comme on ne peut les réduire sans perdre de la puissance, on est conduit à renforcer autant que possible les ampères-tours inducteurs, soit en augmentant en même temps l'entrefer, soit en saturant le fer du circuit magnétique ; cette dernière solution est celle qu'on emploie en général de préférence pour éviter de trop grandes fuites magnétiques.

[1] Il n'y a à considérer ici qu'un flux transversal, parce que, les balais restant calés à la ligne neutre, il ne peut se produire de réaction longitudinale.



Digitized by Google

Dans les moteurs américains tétrapolaires à induit en tambour, les inductions magnétiques atteignent, d'après M. Dawson[1], en régime normal,

| | | |
|---|---|---|
| 12 à 13 000 | unités *c. g. s.* | dans le fer de l'armature, |
| 9 à 10 000 | — | dans l'entrefer, |
| 15 à 16 000 | — | dans le fer inducteur. |

Le champ dans l'entrefer est, dans ces conditions, notablement supérieur à ceux admis ordinairement. Dans les induits en anneau, on le porte à 15 000 ou 16 000 c. g. s.

Dans les moteurs bipolaires, ces chiffres peuvent être notablement dépassés, grâce à l'emploi de bobines inductrices du genre Eickemeyer entourant l'induit, car alors les fuites magnétiques ne réduisent le flux que dans l'inducteur, ce qui est un avantage au lieu d'être un inconvénient. Par exemple, un moteur de 25 chevaux de la maison Kummer[2] travaille au moment du démarrage à l'induction de 23 000 c. g. s. dans l'induit, ce qui correspondrait à 24 000 dans l'inducteur si les fuites ne réduisaient ce dernier chiffre. Il est évident que des valeurs aussi élevées sont exagérées et réduisent beaucoup le rendement; on les évite par l'emploi du moteur à quatre pôles.

On peut se faire une idée pratique sommaire des conditions à réaliser au point de vue de la réaction d'induit en comparant, dans un type éprouvé, le chiffre des ampères-tours totaux de l'induit (produit du nombre de spires par pôle par la moitié du courant normal qui entre dans l'armature) à celui des ampères-tours correspondants, en moyenne, sur chaque pôle inducteur.

Par exemple, dans le moteur américain G.E. 800 à 4 spires par encoche, ce rapport est seulement

$$\frac{1}{2}\ \frac{105}{102} = 0{,}50$$

l'entrefer étant de 3 mm. et l'induction dans celui-ci de 9 à 10 000 c. g. s.; dans le moteur G.E. 1.000, ce rapport est

$$\frac{1}{2}\ \frac{93}{133} = 0{,}35$$

[1] Electric Traction. *Engineering*, 1895.

[2] D'après M. Fischinger, *Elektrot. Zeitsch.*, 2 avril 1896.

Digitized by Google

Nous rappellerons, et on le voit du reste ici directement, qu'à flux égal il y a grand intérêt à réduire le développement périphérique des pièces polaires, et qu'à puissance égale les machines multipolaires ont moins de réaction d'induit que les machines bipolaires.

Un procédé accessoire excellent et très employé aujourd'hui pour réduire la réaction d'induit consiste à couper les *pôles inducteurs* en leur milieu[1], comme le montre la figure 126, de façon à opposer une forte réluctance au flux transversal sans gêner en rien le flux principal ; on peut ainsi doubler sensiblement le nombre des ampères-tours sur l'induit. Ce dispositif, qui pourrait peut-être permettre de réduire encore les bobines excitatrices, vient d'être appliqué à la traction par M. E. Labour[2].

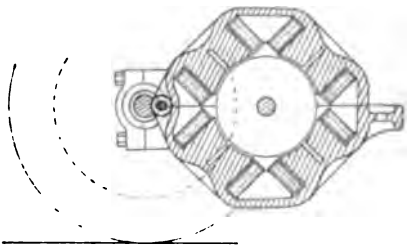


Fig. 126. — Moteur à inducteurs coupés.

3° *Bonne conservation des enroulements inducteurs.* — On a vu plus haut comment celle-ci est assurée par une protection et un isolement soignés ; les enroulements sont en outre recouverts d'une couverture imperméable, car l'étanchéité de l'enveloppe n'est pas toujours assurée et des condensations de vapeur s'y produisent.

Il faut ajouter que cette considération de conservation peut justifier dans une certaine mesure l'emploi de l'excitation en série de préférence à l'excitation en dérivation, et cela pour deux motifs.

D'une part, l'isolement est beaucoup plus difficile à réaliser et à maintenir pour un enroulement en dérivation, entre les extrémités duquel existe la différence de potentiel maxima (500 volts ordinairement), que pour un enroulement en série, où cette différence atteint seulement quelques dizaines de volts et qu'on a soin de relier toujours au pôle communiquant à la terre.

D'autre part, le fil d'un enroulement en dérivation est forcément de faible section et par suite fragile ; il peut donc se produire des

[1] Nous ne parlons pas des autres artifices préconisés pour réduire la réaction d'induit, parce qu'ils ne nous paraissent pas pratiques pour une application de ce genre.

[2] Dans les moteurs de traction de la Société « l'Eclairage Electrique ».

Digitized by Google

ruptures aux points d'attache, qui mettent momentanément le moteur hors de service.

Enfin il est assez difficile de loger l'enroulement, qui est plus volumineux qu'avec les bobines à gros fil.

4° *Grande élasticité de régime.* — Les moteurs doivent, dans les circonstances ordinaires, se prêter aux régimes les plus variés de vitesse et de puissance : suivant la charge et les accidents du profil en long, l'effort nécessaire et par suite le courant varient dans des limites extraordinairement étendues. On doit donc, tout en proportionnant la puissance normale du moteur à l'effort moyen, mettre l'appareil en état de fournir un effort bien supérieur pendant un certain temps, sans subir de détérioration mécanique, sans présenter d'échauffement dangereux, ce qui exige l'emploi de faibles densités de courants et de cuivre de haute conductibilité, et sans cracher aux balais, ce qui exige les champs intenses indiqués plus haut.

On admet en général une densité de courant de 5 à 6 ampères par $mm^2$ dans l'induit, et elle peut être portée à 10 ou 12 ampères au moment du démarrage. Quant le courant devient plus intense et si les bobines sont excitées en série, il faut, pour ne pas trop les échauffer, changer leur mode de groupement ou les shunter par une dérivation extérieure, comme on le verra plus loin. La question de l'échauffement est d'ailleurs singulièrement plus difficile avec les types de moteurs de traction complètement enfermés, qu'avec les moteurs industriels ordinaires jouissant d'une excellente ventilation. Aussi recourt-on à l'emploi d'isolants capables de résister à une haute température : les sections de l'induit sont entourées d'amiante, puis de cuivre et d'un ruban. Les bobines inductrices sont elles-mêmes recouvertes d'amiante sous leur enveloppe imperméable.

On admet qu'un bon moteur doit pouvoir marcher plusieurs heures à son régime normal sans s'échauffer de plus de 40 à 50° et supporter pendant une heure une surcharge de 50 p. 100 sans risquer de brûler l'isolant et sans endommager le collecteur.

C'est ce régime forcé que les constructeurs prennent en général comme base d'évaluation de la puissance de leurs moteurs. Pour

Digitized by Google

celui-ci, l'élévation de température des enroulements peut atteindre 70 à 90° centigrades, grâce aux isolants très résistants auxquels nous venons de faire allusion.

On peut apprécier l'échauffement par l'accroissement relatif de résistance intérieure du moteur, à l'aide de la relation connue

$$\frac{\Delta R}{R} = 0{,}0039\ \Delta t$$

Les bons constructeurs européens admettent comme limite maxima en régime permanent une augmentation de résistance de 30 p. 100 ; les moteurs de la compagnie de Fives-Lille, par exemple, sont établis d'après cette règle. Les constructeurs américains dépassent ce chiffre, et leurs moteurs présentent souvent aux régimes de puissance nominaux des élévations de température de 100 degrés dans les bobines d'inducteurs, donnant lieu à 40 p. 100 d'accroissement de leur résistance.

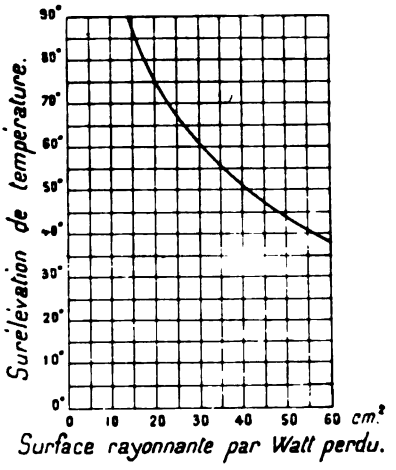



Fig. 127. — Courbe d'échauffement des moteurs clos.

Pour la surface rayonnante nécessaire au refroidissement, on peut adopter, avec une suffisante approximation, les chiffres donnés par Kapp[1] pour des transformateurs enfermés dans une enveloppe de fonte ; la courbe de la figure 127 donne, pour chaque valeur de l'échauffement $\Delta t$, la surface S nécessaire pour dissiper un certain nombre de watts W correspondant à la perte d'énergie dont le moteur est le siège ; en admettant un échauffement de 80 degrés, on arrive ainsi pour les inducteurs à une surface nécessaire de 15 à 20 centimètres carrés par watt[2].

Pendant de courts instants de surcharge, on est obligé d'admettre un dégagement de chaleur bien supérieur encore et qui, pour les démarrages, peut atteindre six à sept fois la valeur normale. On réduit l'augmentation de courant nécessaire à ce régime exceptionnel en faisant travailler les inducteurs en temps normal au-dessous de la saturation, de façon que le champ soit renforcé en même temps que le courant ; on admet, dans les moteurs actuels bien construits, qu'il doit pouvoir être à peu près doublé.

[1] *Les transformateurs*, p. 80.

[2] On comparera ces chiffres à ceux donnés par les formules d'Esson pour les moteurs ouverts :

$$S = \frac{225}{\Delta t} W \qquad \text{pour les inducteurs}$$

$$S = \frac{355}{\Delta t} W \qquad \text{pour les induits.}$$

Digitized by Google

Le moyen le plus simple de satisfaire à ces exigences est en définitive de recourir à des types plus puissants que ne l'exige l'effort moyen de traction, et c'est ce qui explique pourquoi l'on met deux appareils de grande puissance, représentant à eux deux jusqu'à 30 chev. et pouvant en produire momentanément 50, sur une simple voiture de tramway semblable à celles que traînent à Paris 2 ou 3 percherons. Mais, dans ces conditions, on augmente beaucoup le poids mort, et, d'autre part, il devient très difficile de réaliser un bon rendement aux charges moyennes.

Plusieurs bons constructeurs préfèrent augmenter le refroidisse-

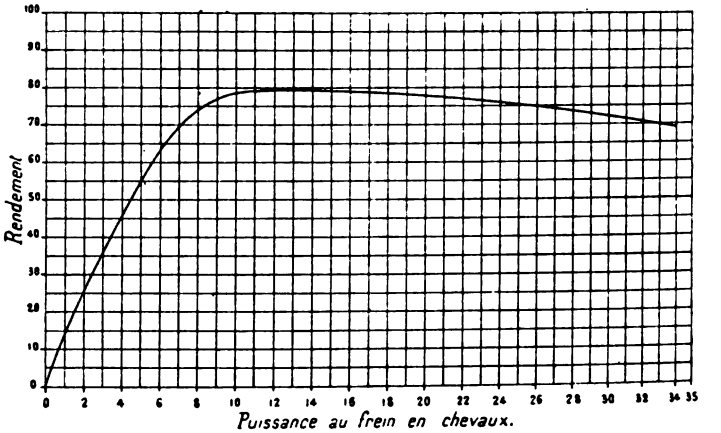



Fig. 128. — Variation du rendement d'un moteur de tramway de 15 à 25 chevaux.

ment en conservant quelques ouvertures dans la cuirasse. C'est ce qu'on fait en général dans les moteurs de chemins de fer, pour lesquels la fermeture de la partie supérieure de la cuirasse ne présente pas une grande importance, tandis qu'il est nécessaire d'augmenter autant que possible la puissance spécifique.

5° *Bon rendement moyen.* — Il ne suffit pas que le rendement soit satisfaisant à la charge nominale ; il faut surtout qu'il conserve une valeur admissible dans de grandes limites de variations du travail. Dans ce but, on doit chercher à le faire croître très vite sous les faibles charges, et le problème est, à ce point de vue, tout à fait semblable à celui qui se pose pour les transformateurs et autres appareils destinés à travailler dans des conditions de charge très

Digitized by Google

variables. La solution consiste à réduire à une faible valeur les pertes qui varient peu avec le courant, c'est-à-dire les pertes par hystérésis, courants de Foucault et frottements, qui dépriment rapidement le rendement aux faibles charges. Pour les réduire on doit, d'une part, abaisser les frottements au minimum, et, de l'autre, diminuer autant que possible l'induction normale et le volume du fer de l'armature. Ces dernières conditions sont difficilement compatibles avec la légèreté et la stabilité d'allure. Aussi le choix des meilleures proportions entre le fer et le cuivre de l'induit est-il assez délicat; le plus simple est de se guider sur les données des moteurs dont la pratique a démontré le bon fonctionnement.

Les courbes de rendement telles que celle de la figure 128 montrent le résultat qu'on peut obtenir ainsi : le rendement croît brusquement dès que le courant a atteint une faible valeur et atteint rapidement son maximum, dont il s'écarte peu lorsque la charge augmente.

**Dispositions générales.** — Les conditions que nous venons d'exposer déterminent à peu près complètement les dispositions du moteur de traction à courant continu, tel qu'on le construit aujourd'hui : armature dentée, d'aussi grand diamètre que possible; inducteurs en acier doux, multipolaires, formant enveloppe extérieure et facilement démontables; collecteur largement proportionné, très soigneusement isolé et facile à remplacer; balais en charbon commodes à inspecter ainsi que le collecteur; engrenages simples ou à chevrons, entourés d'une enveloppe étanche et largement lubrifiés.

Les seuls points sur lesquels il y ait encore quelques variations suivant les constructeurs sont la forme de l'enveloppe ou cuirasse, la disposition des inducteurs et le mode d'enroulement de l'induit.

**Cuirasse ou enveloppe.** — Nous appelons ainsi la boîte qui constitue l'extérieur du moteur; elle est formée des noyaux inducteurs, complétés au besoin par des pièces rapportées. Au début, comme nous l'avons dit plus haut à propos du type Thomson-Houston W. P., on laissait l'enveloppe ouverte sur les côtés pour faciliter la ventilation. Mais on n'obtenait ainsi qu'une protection

Digitized by Google

imparfaite. Aujourd'hui, en Amérique, on n'admet sur les tramways que des *cuirasses complètes* en acier doux, munies seulement d'ouvertures de visite à fermeture hermétique. Les paliers doivent être *extérieurs à l'enveloppe* pour éviter toute introduction d'huile.

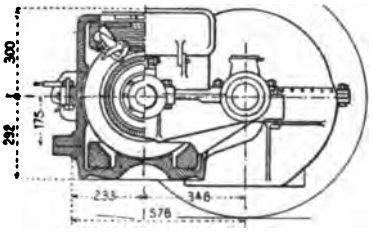



Fig. 129. — Cuirasse à coupure horizontale de la General Electric Co.

Cette disposition donne au moteur une grande solidité, en même temps qu'une grande légèreté; elle supprime les fuites magnétiques, et met les organes à l'abri de l'humidité et des matières grasses.

La cuirasse étanche est tout à fait nécessaire dans les villes américaines, où les chaussées urbaines, et *a fortiori* suburbaines, sont déplorablement mal entretenues et où il n'est pas rare que les voies parcourues par les voitures électriques soient complètement inondées ou couvertes de neige fondante. En Europe, grâce à l'état beaucoup plus satisfaisant de nos rues et de nos routes, une enveloppe complètement fermée est moins indispensable et l'expérience des tramways de Paris et du South-Staffordshire (Angleterre) montre que, dans des conditions favorables, un moteur non cuirassé peut suffire à la rigueur pour une petite exploitation. Il en est de même à plus forte raison sur les chemins de fer, quand il n'y a pas à craindre d'inondation de la voie. Mais il vaut mieux pécher par excès de précautions et adopter la disposition américaine.

Fig. 130. — Moteur Sperry. Dispositions générales.

On fait le plus généralement cette cuirasse en deux pièces, assemblées suivant un plan passant par l'axe du moteur ou un peu plus haut et réunies d'un côté par des charnières qui permettent de les ouvrir. Dans certains

Digitized by Google

moteurs, tels que le G. E. 800 (fig. 129), le plan de la coupure est dirigé suivant une ligne de pôles; dans d'autres au contraire, tels que les moteurs Siemens et Halske (fig. 131), il est oblique, suivant une méthode qui paraît due à Sperry (fig. 130). Ces deux dispositions sont également commodes pour la visite des moteurs et l'enlèvement des armatures; on remarquera seulement que la première suppose l'emploi de pôles conséquents [1]. La seconde, au contraire, permet l'emploi de bobines aux quatre pôles; si l'on place ceux-ci suivant les directions à 45 degrés (fig. 132), comme le fait depuis longtemps la compagnie Westinghouse, en dirigeant la ligne de coupure suivant l'horizontale, le moteur devient plus symétrique. C'est la disposition adoptée aussi aujourd'hui par les sociétés Walker, Oerlikon, Ganz, etc.; la coupure peut être faite, soit dans le plan de l'axe de l'essieu, soit un peu plus haut.

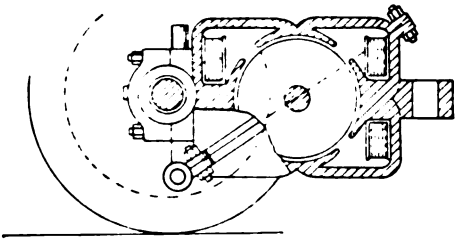


Fig. 131. — Cuirasse à coupure oblique de Siemens et Halske.

Une autre disposition, encore appliquée par plusieurs constructeurs européens fidèles au matériel Sprague (Allgemeine Elektricitats Gesellschaft, Cie de

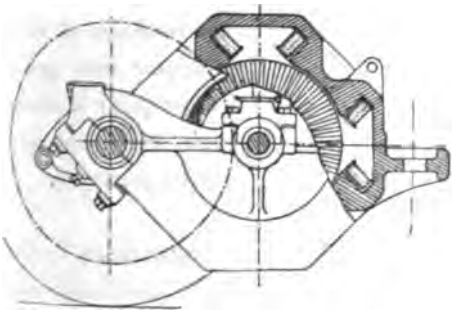


Fig. 132. — Cuirasse octogonale à coupure horizontale d'Oerlikon.

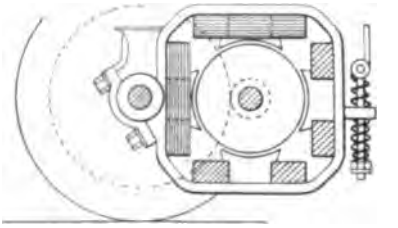


Fig. 133. — Cuirasse à plateaux rapportés de la compagnie de Fives-Lille et de l'Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft.

Fives-Lille, etc.), consiste à former l'enveloppe de trois parties : une carcasse centrale (fig. 133) portant les pièces polaires, et deux flasques latérales portant les paliers et assemblées par des boulons. Cette disposition est moins commode pour la visite que les précédentes.

Une troisième forme de cuirasse, celle d'une boîte à couvercle, a été employée par certains constructeurs américains, notamment la compagnie Curtiss et la « Steel Motor Company ». D'autres moteurs présentent une enveloppe à coupure verticale : tel était le moteur « gearless » de la compagnie Westinghouse;

[1] C'est-à-dire privés de bobines d'excitation et soumis seulement à l'effet magnétisant des bobines des pôles voisins.

Digitized by Google

tel est encore le moteur du tramway de Romainville, construit par MM. Hillairet et Huguet. Ces deux dispositions sont défectueuses au point de vue de l'exploitation, en ce qu'elles compliquent beaucoup le démontage des inducteurs et des armatures.

La cuirasse doit être munie d'un judas pour la visite du collecteur. Il ne paraît pas avantageux de fixer les porte-balais au cou-

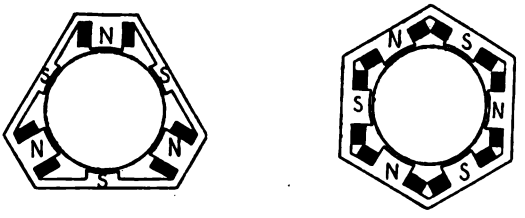



Fig. 134 et 135. — Disposition des inducteurs hexapolaires avec ou sans pôles conséquents.

vercle de ce judas comme on le fait quelquefois pour pouvoir les retirer plus facilement, car on perd ainsi la possibilité de les examiner en fonctionnement.

La boîte des engrenages se fait aussi en deux moitiés, et on y pratique une petite trappe pour le graissage et l'inspection des engrenages.

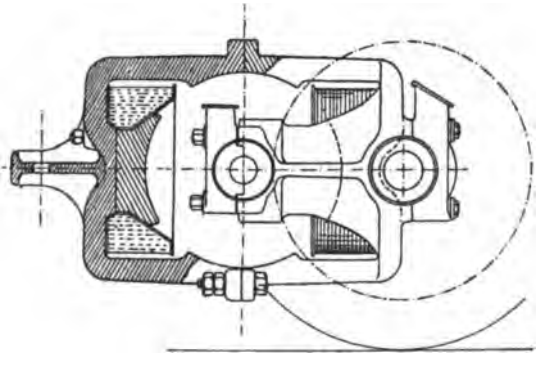


Fig. 136. — Inducteurs du moteur Edison-Sprague.

**Inducteurs.** — On a été longtemps hésitant sur le nombre de pôles et de bobines à adopter, et sur la forme à leur donner. Pendant plusieurs années, on s'en est tenu au système bipolaire, qui a été conservé par la compagnie Thomson-Houston jusqu'à sa fusion avec la compagnie Edison en 1892. Aujourd'hui, les bons constructeurs n'emploient plus que des types tétra- ou hexapolaires.

Il n'y a pas possibilité, sur les tramways, d'adopter plus de quatre pôles, car le nombre des touches par champ au collecteur devien-

Digitized by Google

drait insuffisant; la forme hexapolaire ne peut trouver d'emploi que sur les chemins de fer électriques à grande vitesse et avec commande directe des essieux. En général, on peut recommander l'emploi du type de la figure 133 toutes les fois qu'on a la place de le loger, l'emploi du type de la figure 132 pour les trucks bas, et enfin celui de la figure 129 pour les bogies à deux moteurs des grandes automobiles et des locomotives de chemins de fer, où l'on se trouve plus limité en largeur qu'en hauteur.

De même, pour les inducteurs hexapolaires, on préférera le type à pôles conséquents (fig. 134) pour les voitures basses et le type

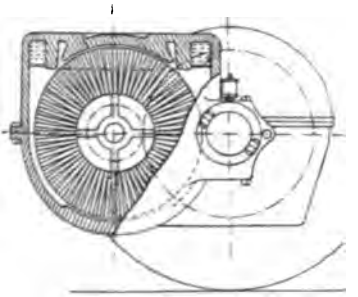


Fig. 137. — Système inducteur du moteur Thomson Houston W. P.

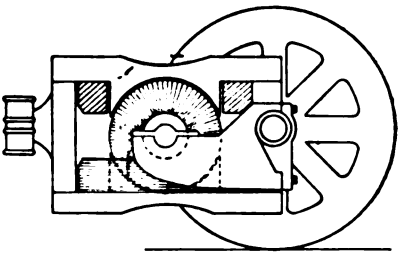


Fig. 138. — Ancien moteur Thomson-Houstson S. R. G.

à 6 bobines, disposées comme l'indique la figure 135, pour les bogies à grandes roues.

Nous devons ajouter que le type tétrapolaire, plus ramassé et plus simple d'enroulements, semble préférable même dans ce cas.

Le nombre des bobines magnétisantes peut être égal à celui des pôles ou à la moitié seulement, une seule bobine suffisant à la rigueur à produire un flux magnétique. La première disposition (fig. 133) est la plus satisfaisante au point de vue de la symétrie ; elle assure en outre une plus grande surface de refroidissement; mais diverses conditions ont pu rendre la seconde nécessaire : par exemple, la disposition des moteurs de Wenstrom (fig. 113, p. 144), d'Edison-Sprague (fig. 136) et de Siemens et Halske (fig. 131) permet de gagner de la place en hauteur; celle du moteur G. E. 800 (fig. 129) permet d'avoir un plan d'ouverture horizontal et de rapprocher l'arbre de l'essieu. On voit d'autres exemples de pôles conséquents dans les moteurs bipolaires W. P. (fig. 137) et Hillairet (fig. 204, p. 224). Mais l'emploi de ces pôles augmente les fuites magnétiques et tend à produire une diffusion du champ peu avantageuse pour la commutation à la ligne neutre.

Digitized by Google

La forme des bobines excitatrices a également varié : dans les moteurs bipolaires (fig. 137 et 138), il est avantageux de leur faire déborder les pièces polaires de façon à embrasser l'induit lui-même, suivant le principe d'Eickemeyer (p 149), et à rendre ainsi maximum le flux dans l'induit tout en gagnant de la place en hauteur.

Pour les moteurs tétrapolaires, quelques constructeurs conservent cette méthode, dont on verra un exemple sur le moteur Thury (fig. 201, p. 221); mais pour éviter d'être obligé d'élargir ainsi les bobines, on se contente souvent de bobines cintrées ou plates maintenues par de minces pièces polaires courbes rapportées et débordantes (fig. 131 et 133).

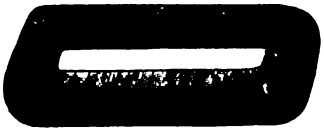


Fig. 139. — Bobine d'inducteur. (Moteur Westinghouse n° 3.)

Les bobines des inducteurs sont exécutées, soit sur des carcasses en substance isolante, soit sur une simple forme ayant le profil voulu pour s'adapter exactement sur les noyaux ; une fois terminées, elles sont imbibées d'isolant et recouvertes d'une toile isolante imperméable et incombustible. La figure 139 représente une bobine de ce genre terminée et la figure 140 le mode de construction d'une forme [1].

**Induit.** — La question la plus importante à résoudre était le

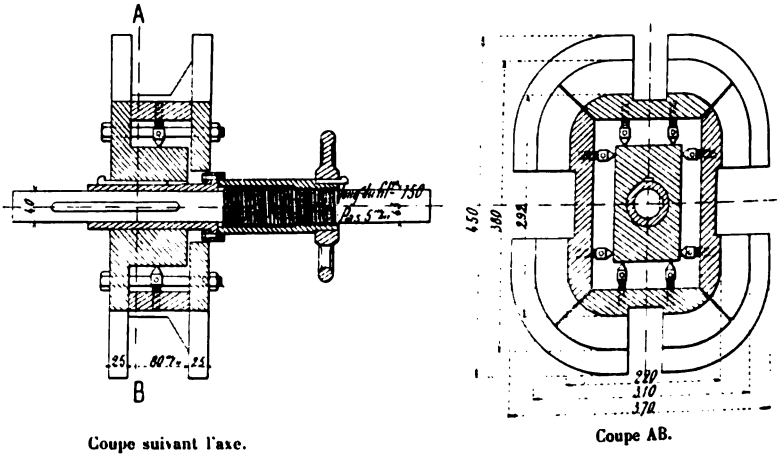



Fig. 140. — Forme pour l'enroulement des bobines d'inducteurs. (Ateliers de la Cie des tramways du Havre.)

choix du mode d'enroulement. Les constructeurs ont adopté successivement l'enroulement *en anneau* et l'enroulement *en tam-*

[1] Nous devons les renseignements sur cette forme et celle de la figure 145 à l'obligeance de M. Soclet, directeur des Tramways du Havre, où nous les avons vu employer.

Digitized by Google

*bour*. On fait valoir en faveur du premier sa solidité mécanique, la simplicité des connexions et la facilité de défaire et de rebobiner une section sans toucher aux autres. Tant qu'on a employé des moteurs bipolaires, l'enroulement en tambour était en effet le moins avantageux à tous les points de vue ; les fils étaient mal assujettis sur le noyau, lisse à cette époque, et n'étaient retenus que par le frettage ; d'autre part, pour satisfaire aux conditions pratiques d'un bon rendement, le diamètre du tambour bipolaire doit être inférieur aux 2/3 de la longueur, ce qui ne permettait pas l'emploi d'induits de grand diamètre ; enfin le bobinage Eickemeyer était assez délicat à exécuter.

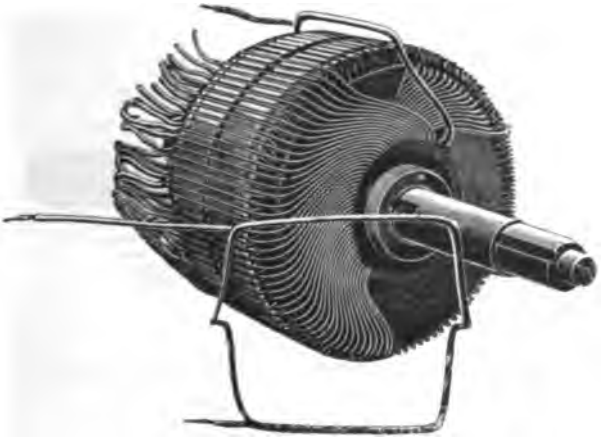


Fig. 141. — Bobinage d'un induit de la General Electric Co.

Mais ces difficultés ont disparu avec l'emploi des moteurs multipolaires et des induits dentés ; pour ceux-ci, le diamètre d'armature n'est pas limité, les fils sont solidement fixés dans les dentures, les tôles sont beaucoup mieux clavetées sur l'arbre qu'avec l'anneau et d'autre part on n'est pas aussi gêné pour loger les fils. La complication des connexions n'est pas plus grande et cet enroulement permet d'employer facilement des sections bobinées à la machine, interchangeables ; un ouvrier peut bobiner jusqu'à deux de ces armatures pour moteurs de 15 à 25 chev. en une journée. En cas d'avarie à l'une des sections, au lieu d'en rebobiner une autre à la main, il suffit de la remplacer par une

Digitized by Google

bobine toute faite, après avoir enlevé au plus le 1/4 des bobines.

La figure 141 représente le mode d'exécution d'un induit de ce genre, pour moteur G. E. ; chaque bobine comprend, comme on

Fig. 142. — Commencement du bobinage de la première couche.

Fig. 143. — Armature avec sa première couche achevée.

Fig. 144. — Armature avec sa première couche connectée au collecteur.

Fig. 142, 143 et 144. — Induit de moteur Westinghouse aux diverses phases de son bobinage.

le voit sur les bases du tambour, deux parties situées dans des plans différents. La compagnie Westinghouse, qui emploie aujourd'hui sensiblement la même disposition, avait pour ses anciens moteurs un mode d'exécution un peu différent, mais équi-

Digitized by Google

valent. Les figures 142 à 144 montrent un induit de cette maison [1] aux diverses étapes de son bobinage et la figure 147 le mode de construction et de calage du noyau en tôles, ainsi que du collecteur.

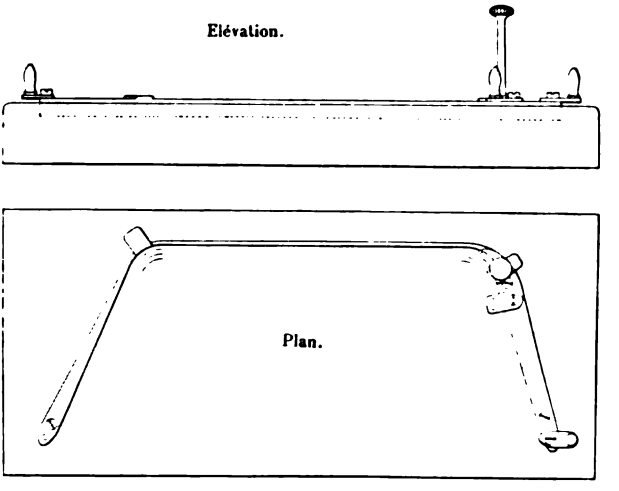



Fig. 145. — Forme pour le bobinage des sections d'induit. (Ateliers de la Cie des tramways du Havre.)

L'expérience a montré toute l'importance pratique de ce système. Aussi l'enroulement en tambour est-il adopté partout de l'autre côté de l'Atlantique; l'enroulement en anneau a conservé

Fig. 146. — Armature nouveau modèle dite « ventilée » de la Cie Westinghouse.

cependant faveur auprès de plusieurs constructeurs européens, peu habitués encore au bobinage mécanique des induits ; mais il faut alors des ouvriers plus habiles pour les réparer et il est dif-

[1] D'après Hutchinson et Philipps, *Westinghouse electric railway equipments*, p. 82.

Digitized by Google

ficile de leur donner un isolement aussi élevé que celui des bobines achetées toutes faites.

Les sections d'induits américains sont enroulées sur forme *ad hoc* (fig. 145), enveloppées de toile imperméable, imbibées de vernis isolant, essayées à part à haute tension (2000 à 3500 volts alternatifs) et mises ensuite en place dans les rainures du noyau garnies de mica ou d'un isolant équivalent. On les y maintient à l'aide de frettes en fil d'acier[1] et on termine ordinairement le noyau de l'induit à ses deux extrémités par des portées coniques

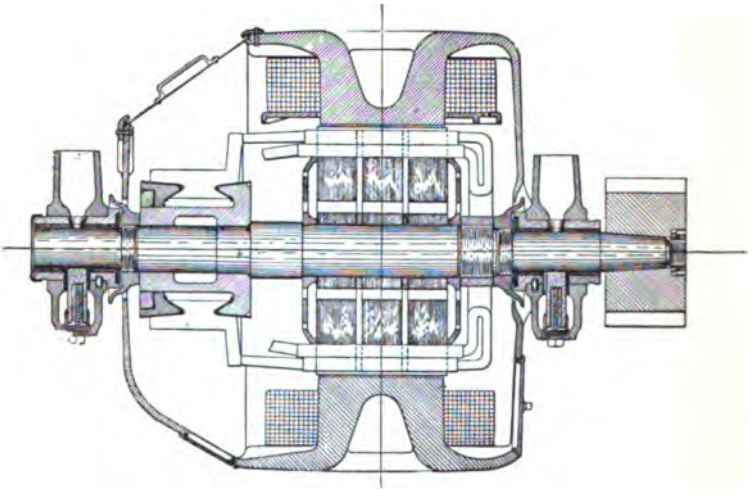


Fig. 147. — Coupe verticale d'un moteur de traction. (Moteur Baldwin-Westinghouse pour locomotives).

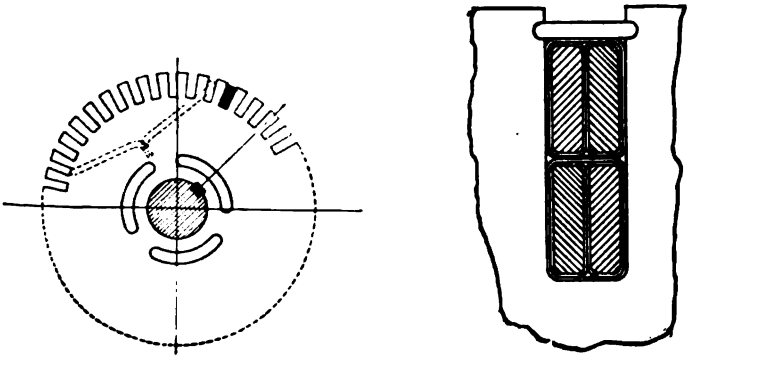
sur lesquelles on applique les extrémités des bobines ; on recouvre ensuite celles-ci d'une forme en tôle d'acier contre laquelle on serre, au moyen d'un écrou, une seconde portée conique. Les fils ainsi emprisonnés se trouvent maintenus d'une manière parfaitement fixe. L'expérience a montré que, dans ces conditions, on ne court aucun risque de brûler les armatures en tambour par défaut d'isolement entre les sections sur les bases de l'induit ; les différences de potentiel restent d'ailleurs faibles entre fils voisins. Le

[1] Pour les induits bobinés en anneau, on a employé également des dentures en forme de queue d'hironde dans lesquelles on maintenait les sections par des coins en bois, ce qui dispensait de fretter. La figure 148 indique un mode de calage analogue par réglettes en bois enfilées dans une double gorge.

Digitized by Google

tout est recouvert d'une toile isolante, imperméable et incombustible (fig. 161). Récemment, la compagnie Westinghouse a remplacé cette disposition par une autre plus favorable à la ventilation (fig. 146) et qui consiste à écarter les unes des autres les boucles terminant les sections de façon à laisser entre elles de grands espaces vides.

Dans les gros moteurs à grande vitesse, en particulier pour les chemins de fer, le nombre des spires est très réduit, et on fait l'enroulement non pas en fils, mais en barres plates; la figure 147 représente, par exemple, la coupe d'un moteur de locomotive Baldwin-Westinghouse à deux spires plates par section.



Disposition des spires formées par les barres. Disposition des barres dans les encoches.

Fig. 148. — Mode de bobinage avec barres plates.

On remarquera la disposition des barres et leur mode de frettage dans l'encoche (fig. 148).

**Bobinage des induits.** — Les ingénieurs ou agents qui dirigent les ateliers de réparation des compagnies de traction électrique doivent être assez familiarisés avec le bobinage des induits pour pouvoir facilement démonter et remonter les sections en cas d'avarie à une armature. Nous croyons donc utile d'indiquer ici les modes de bobinage usuels, sous leur forme pratique.

Au début de l'emploi des moteurs tétrapolaires on construisait les induits suivant l'enroulement dit « en parallèle » (fig. 149). Celui-ci permettait l'emploi de deux balais seulement au lieu de quatre, moyennant l'addition de connexions reliant les touches opposées du commutateur, soit à l'intérieur, soit à



Digitized by Google

l'extérieur de celui-ci, comme le montre le tracé pointillé (nous n'avons figuré que deux des connexions extérieures à titre d'exemple). Mais le courant se partageait d'une manière inégale entre les diverses parties de l'induit sous

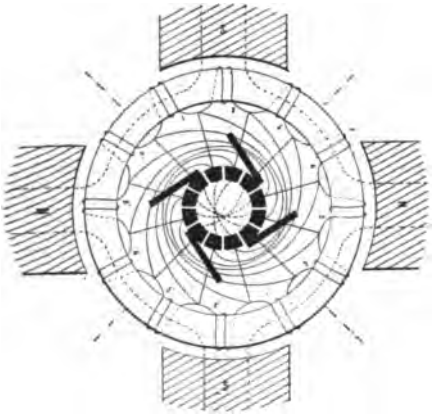


**Fig.** 149. — Anneau tétrapolaire. — Bobinage en parallèle.

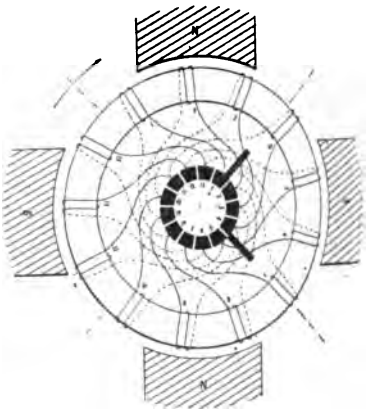


Fig. 150. — Anneau tétrapolaire. — Bobinage en série avec connexions symétriques.

l'influence de la moindre inégalité entre les divers champs inducteurs, et produisait des efforts dissymétriques et des échauffements exagérés ; en outre, l'avarie d'une bobine de champ forçait à mettre le moteur hors de circuit. Aussi

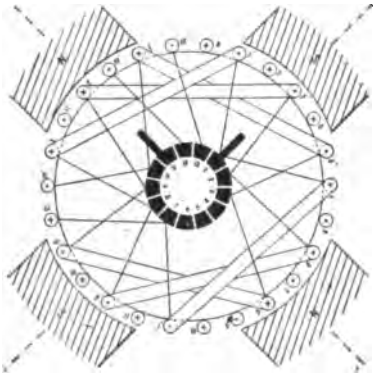


Fig. 151. — Tambour tétrapolaire. — Bobinage en série à une couche.

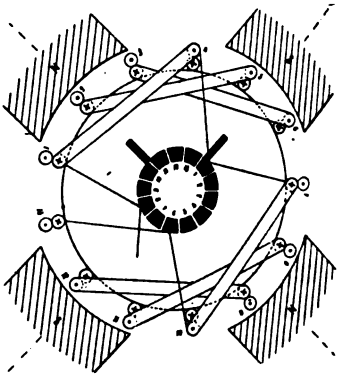


Fig. 152. — Tambour tétrapolaire. — Bobinage en série à deux couches.

préfère-t-on aujourd'hui coupler les diverses parties de l'induit en « série » ou en polygone étoilé, à l'aide de connexions qui ramènent à deux seulement le nombre des circuits offerts au courant et à deux le nombre des balais; il ne peut plus alors y avoir d'inégale répartition et le moteur peut fonctionner à la rigueur avec un seul de ses champs inducteurs.

Digitized by Google

Pour réaliser cet enroulement, on adopte pour le noyau un nombre d'encoches $n$ égal à un multiple du $\frac{1}{2}$ nombre des pôles $p$, plus ou moins une unité,

$$n = pm \pm 1 ;$$

$m$ n'ayant aucun facteur commun avec $n$, le fil de sortie de la dernière bobine peut venir se rattacher au fil d'entrée de la première.

Pour les induits tétrapolaires en particulier, où $p = 2$, on pose

$$n = 2m \pm 1.$$

Le nombre de barres au collecteur est égal à celui des encoches, et chaque touche est reliée à la fois au fil de sortie d'une bobine et au fil d'entrée de la bobine située dans la $\left(m + \frac{1}{2}\right)^{ème}$ encoche comptée à partir de la précédente suivant le sens de la rotation.

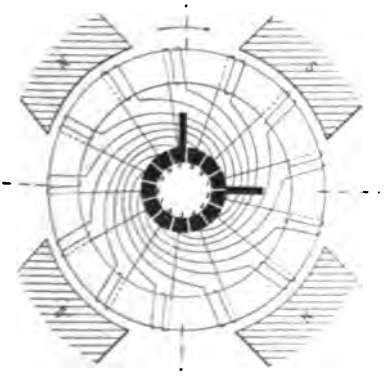


Fig. 153. — Anneau tétrapolaire. — Bobinage en série avec connexions dissymétriques.

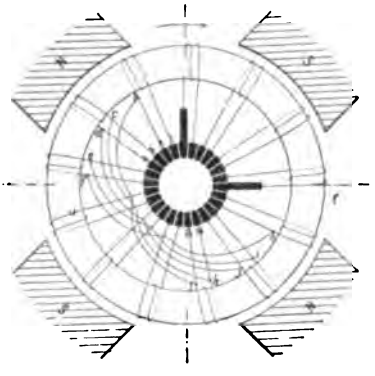


Fig. 154. — Anneau tétrapolaire. — Bobinage en série avec collecteur doublé et fourches de connexions.

Les moteurs ordinaires de tramways ont généralement $m$ compris entre 22 et 24, d'où $n$ compris entre 87 et 97. Le mode de bobinage en anneau et tambour est peu différent.

Les figures 150 et 153 représentent, pour plus de clarté, le cas d'un anneau simplifié à 13 bobines seulement. Ces deux figures ne diffèrent que par la forme des jonctions : dans la première, chaque section est réunie directement à la touche du collecteur située sur le même rayon et est raccordée directement à la bobine opposée; dans la seconde, chaque bobine est reliée à deux touches du collecteur à peu près également décalées en avant et en arrière ; cette disposition est la meilleure parce qu'elle réalise une symétrie plus complète et dispense de faire des soudures sur les fils de jonction en dehors du collecteur.

Les connexions à réaliser dans la pratique se représentent aisément sous forme de tableaux.

Supposons par exemple qu'il s'agisse d'un induit à anneau pour lequel on ait

$$n = 2 \times 48 - 1 = 95.$$

Digitized by Google

L'induit portera 95 encoches sur sa périphérie et le collecteur aura 95 barres ; on numérotera les unes et les autres dans le sens de la rotation ; on bobinera dans les encoches toutes les sections dans un même sens, dextrosum par exemple, et on peindra en couleurs différentes les fils d'entrée et de sortie de chaque section, pour les distinguer facilement. La première encoche, choisie arbitrairement, portera le double numérotage 1 et 96, et on numérotera par exemple 1 la barre à laquelle on reliera le fil de sortie de cette encoche ; l'écart angulaire entre les origines des numérotages des barres et des encoches est arbitraire ; si on admet la disposition de la figure 151, on le fera égal à $\frac{m}{2}$, c'est-à-dire ici à 24.

Chaque bobine devra être mise en série avec celle située à 47 encoches plus loin ; les connexions entre les bobines et les barres seront effectuées conformément aux indications du tableau suivant :

TABLEAU I

| NUMÉROS des bobines. | NUMÉROS des barres du collecteur. |
|---|---|
| 1 | 1 |
| 48 | 48 |
| 95 | 95 |
| 49 | |
| etc. . . . | etc. . . . |

d'où l'on peut déduire sous une autre forme les indications équivalentes du tableau II :

TABLEAU II

| N° des BOBINES | N° DES BARRES DU COLLECTEUR AUXQUELLES ON CONNECTE | |
|---|---|---|
| | le fil de sortie (noir). | le fil d'entrée (blanc). |
| 1 | 1 | 96 — 47 = 49 |
| 2 | 2 | 50 |
| 3 | 3 | 51 |
| .. | .. | .. |
| 47 | 47 | 95 |
| 48 | 48 | 1 |
| 49 | 49 | 2 |
| .. | .. | .. |
| 93 | 93 | 46 |
| 94 | 94 | 47 |
| 95 | 95 | 48 |

Digitized by Google

Si au lieu du signe — on avait pris le signe + dans la formule, on aurait $n = 97$, $m + \frac{1}{2} = 49$ et le tableau des connexions serait le suivant :

TABLEAU III

| N° des BOBINES | N° DES BARRES DU COLLECTEUR AUXQUELLES ON CONNECTE | |
|---|---|---|
| | le fil de sortie (noir). | le fil d'entrée (blanc). |
| 1 | 1 | 98 — 49 = 49 |
| 2 | 2 | 50 |
| 3 | 3 | 51 |
| .. | .. | .. |
| 49 | 49 | 97 |
| 50 | 50 | 1 |
| 51 | 51 | 2 |
| .. | .. | .. |
| 95 | 95 | 46 |
| 96 | 96 | 47 |
| 97 | 97 | 48 |

Pour les induits bobinés en tambour, le principe reste le même, mais les bobines sont posées à plat : la première occupe par exemple les encoches 1 et $m + 1$, la seconde les encoches 2 et $m + 2$, etc... ; les encoches doivent donc être un nombre double de celui des bobines (fig. 151) ou contenir deux systèmes de bobines superposées (fig. 152).

C'est suivant cette seconde méthode qu'on exécute en général les induits de moteurs de traction et l'on donne alors aux bobines extérieures des dimensions plus grandes qu'aux bobines intérieures. On commence par placer celles-ci et on recouvre leurs extrémités d'une toile isolante ; puis on les connecte et on recouvre les connexions ; enfin on place la deuxième série, on la connecte, on recouvre et on frette le tout.

Au point de vue des connexions, les bobines sont groupées exactement comme les bobines d'un anneau ; on adopte ordinairement le bobinage en série, exécuté suivant le schéma de la figure, où il y a autant d'encoches que de barres de collecteur.

Soit par exemple un induit-tambour à 95 encoches, comme l'ancien Westinghouse numéro 3 ; on prendra 47 bobines petites et 48 grandes. La première des petites sera placée avec son fil d'entrée (blanc) dans l'encoche numéro 1 et son fil de sortie (noir) dans l'encoche 25, la seconde dans les encoches 2 et 26, et ainsi de suite, la 47e dans les encoches 71 et 95, l'encoche 72 restant vide. Après empaquetage de cette première couche, on dispose la seconde, formée des grandes bobines ; la première est placée dans les encoches 72 (au fond) et 1 (en haut), la suivante en haut des encoches 73 et 2, etc. ; enfin la 48e dans les encoches 48 et 72, ce qui achève le remplissage.

Pour donner de la symétrie aux connexions, on reliera le fil de sortie de

Digitized by Google

la bobine numéro 1 à la barre placée au droit de la 12e encoche comptée dans le sens dextrosum à partir de l'encoche de sortie, ou de la 24e à partir de l'encoche médiane; et on reliera le fil de sortie à la barre symétrique de la précédente par rapport à la bobine. Une fois toutes les bobines de la première couche ainsi connectées, on continue par celles de la seconde considérées comme diamétralement opposées aux précédentes.

Le tableau de connexion est, du reste, le même exactement que le tableau II correspondant à l'enroulement en anneau, si l'on suppose le numérotage de la première colonne appliqué ici aux *bobines* plates; si on préfère l'appliquer aux *rainures* contenant les fils d'entrée, il faudra ajouter $\frac{1+25}{2} = 13$ à tous les chiffres du tableau II.

Tous ces bobinages sont très simples et faciles à reproduire.

Une fois les connexions bien repérées, on soude soigneusement les fils aux queues des barres de collecteur préparées *ad hoc*.

Les dispositions précédentes exigent pour les induits, en anneau aussi bien qu'en tambour, un nombre de bobines égal à celui des touches du collecteur et les balais mettent toujours deux bobines à la fois en court circuit, ce qui est désavantageux. On peut n'en commuter qu'une à la fois et doubler le nombre de barres au collecteur en adoptant un autre mode de connexions, représenté pour l'induit en anneau par la figure 154; les connexions entre bobines restent les mêmes que sur la figure 153, mais chacune est pourvue de deux touches de collecteur au lieu d'une. Quand le balai est sur la touche 1 seule, le courant passe ainsi successivement par la touche 1, la bobine 6, la bobine lk, la touche 14 et la touche 3, la bobine *cd*, etc...; quand le balai est à cheval sur les touches 1 et 2, il met en court circuit seulement la bobine 6, et quand il est sur 2 et 3, seulement la bobine *lk*.

Ce bobinage est employé par la compagnie de Fives-Lille, et lui permet de réduire à 67 le nombre des sections. Il s'applique également aux induits en tambour. Le seul inconvénient qu'il présente, c'est d'exiger des fourches de connexion supplémentaires en plus des connexions directes avec le collecteur; aussi n'est-il pas appliqué en Amérique.

La compagnie Westinghouse emploie dans ses derniers moteurs un autre procédé pour simplifier les induits en tambour. Elle place dans chaque encoche deux paires de bobines au lieu d'une, chaque paire étant enfermée dans une enveloppe unique. Cette disposition permet de réduire de moitié le nombre des encoches, en traitant les deux bobines d'une même paire comme deux bobines successives; mais il faut avoir soin de mettre hors circuit dans chaque induit une des bobines, qui ne sert plus que de remplissage mécanique.

Par exemple, dans les moteurs ordinaires du type 12 A, dont les noyaux sont munis de 47 encoches, on a

$$n = 2 \times 47 - 1 = 93;$$

chaque paire d'encoches contenant 4 bobines, il y en a une de trop; on la garde seulement pour équilibrer l'armature, et on isole ses extrémités.

Dans les anciens induits, les deux paires de bobines appartenaient respectivement à deux couches différentes; dans le numéro 12 A, au contraire, on fait

Digitized by Google

chevaucher les bobines de façon que chacune ait un long côté au fond d'une encoche et l'autre côté au haut de l'autre encoche. Cette disposition permet de n'employer qu'une seule espèce de bobines au lieu de deux pour l'armature et les réparations s'en trouvent beaucoup facilitées.

Les bobinages d'induits hexapolaires s'exécutent d'après des principes analogues avec symétrie tertiaire. Ils sont si peu répandus qu'il est inutile d'y insister ici.

**Collecteurs.** — Le collecteur reste la partie faible du moteur et sa durée est très limitée. Il est sujet à plusieurs causes de dégradation ; la poussière de charbon, l'humidité, l'huile de graissage peuvent déterminer des courts-circuits entre les segments. On doit éviter surtout que l'huile de graissage puisse, en cheminant le long de l'arbre, pénétrer sous les lames du collecteur ; en outre, il faut rendre le démontage facile en vue des réparations. Les points les plus délicats sont les soudures des barres aux fils de l'induit.

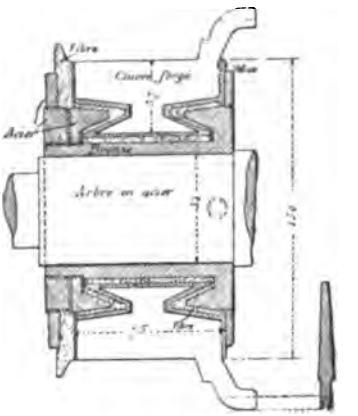


Fig. 155. — Disposition générale d'un collecteur pour moteur de traction.

La figure 155 indique le mode de construction d'un collecteur bien établi, retenu par une seule pièce en forme de cône. Les lames sont en cuivre dur ; les constructeurs américains fournissent des séries complètes de segments prêts pour les soudures et de lames isolantes taillées à la forme voulue (fig. 156).

Les balais en charbon, que beaucoup de compagnies emploient cuivrés à la surface, coulissent dans des gaines en cuivre formant porte-balais ; ils sont appuyés par des ressorts normalement au collecteur ; les figures 157 et 158 donnent des exemples ancien et récent de ces porte-balais. Ceux-ci sont fixés à la carcasse inductrice, plutôt qu'au couvercle amovible.

Pour que la résistance de ces balais ne réduise pas l'intensité du courant principal et par suite le rendement, on les serre dans des gaines en cuivre qui viennent jusqu'à une faible distance du collecteur. Les balais en charbon graphité de MM. Girard et Street, qui

Digitized by Google

présentent une conductibilité deux fois plus grande environ que celle des charbons ordinaires, permettent d'employer des densités

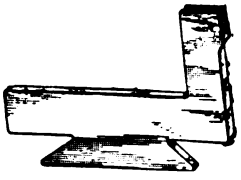


Fig. 156. — Segment de collecteur (moteur Baldwin-Westinghouse).

Fig. 157. — Porte-balais, ancien type, du moteur Westinghouse n° 3.

de courant supérieures et de réduire en conséquence la section des balais et des collecteurs.

En pratique, il faut à un balai en charbon 10 à 20 mm² de surface

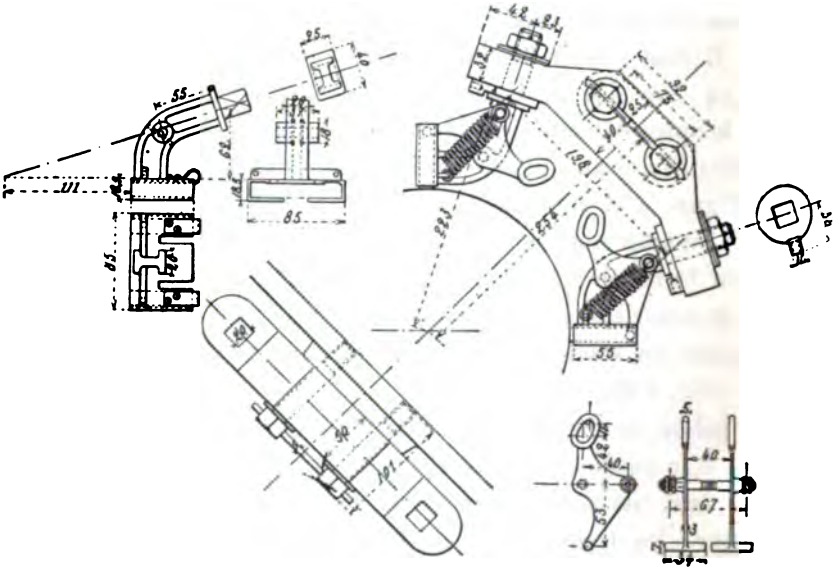


Fig. 158. — Détails d'un porte-balais (moteur d'Oerlikon, avec pôles à 45°).

frottante par ampère de courant à débiter, au lieu de 1 mm² seulement pour un balai de cuivre ; les balais graphités n'exigent que 5 à 10 mm² par ampère.

Les balais en charbon présentent un second avantage très im-

Digitized by Google

portant : c'est qu'ils polissent le collecteur, au lieu de le rayer comme les balais métalliques ; pour favoriser cet utile effet, on les forme d'une pâte spéciale, différant notablement de celle des charbons à lumière ; les crayons graphités sont excellents à ce point de vue, à condition qu'ils ne contiennent pas trop de graphite, car celui-ci est très friable.

La pression des balais dans les moteurs de traction ne doit pas être inférieure à 250 ou 300 grammes par cm².

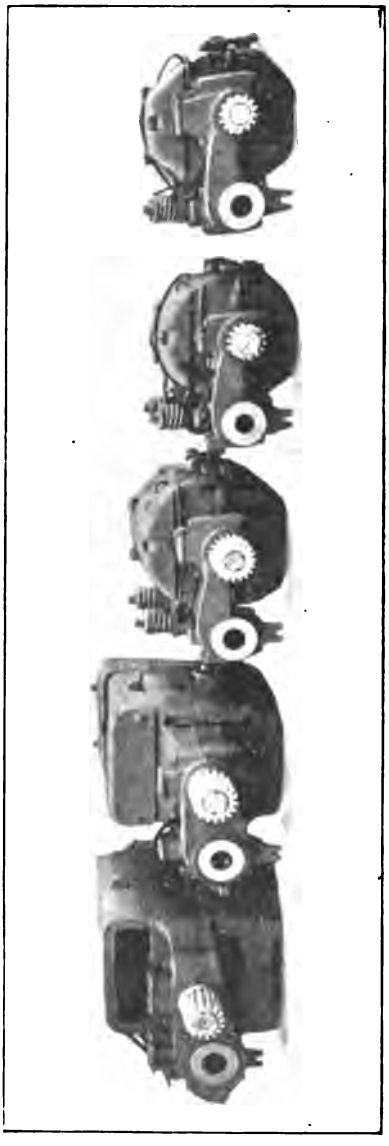


Fig. 159. — Dimensions comparatives d'une série de moteurs de traction de 25 à 125 chevaux (Cie Walker).

**Puissance et rendement des moteurs.** — La puissance des unités courantes pour les voitures automobiles varie aujourd'hui depuis 15 ou 20 chev. jusqu'à 100 chev., à la vitesse réduite de 16 km. La figure 159 donne une bonne idée des proportions relatives de moteurs offrant une série complète de puissances graduées entre ces limites pour des automobiles à voie normale.

Sur les grandes voitures de chemins de fer, qui sont montées sur des trucks plus élevés que ceux des voitures de tramways, on peut développer dans le sens vertical les dimensions des inducteurs, en même temps qu'on augmente le diamètre de l'induit et qu'on place

Digitized by Google

l'arbre à un niveau supérieur à celui de l'essieu. Pour réaliser les grandes puissances nécessaires à ces voitures, on laisse dans la carcasse de larges ouvertures qui permettent dans les fils l'emploi de densités de courant élevées, sans présenter d'inconvénient sensible pour des moteurs circulant sur plate-forme séparée. Grâce aux vitesses plus grandes réalisées sur les chemins de fer, les mêmes moteurs peuvent y développer des puissances bien supérieures à celles qu'ils donnent sur des tramways; les puissances courantes des unités sont 50, 100 et 200 chev.

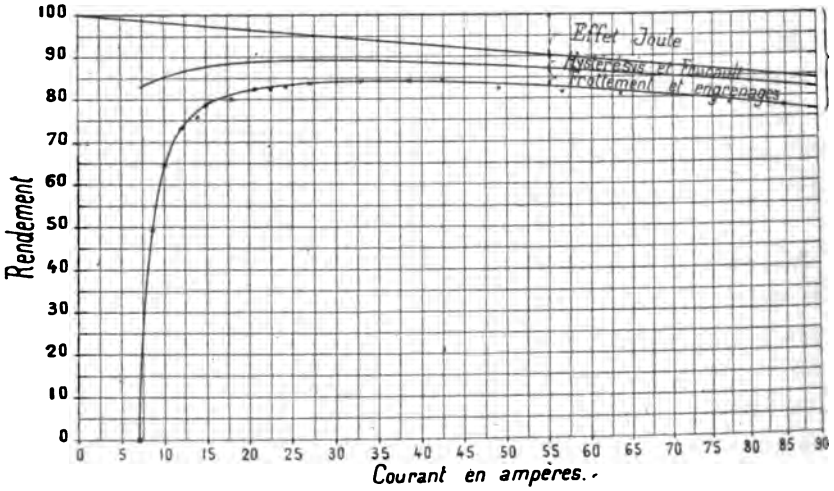



Fig. 160. — Répartition des pertes relatives sous les diverses charges dans un moteur de tramway. — Moteur G. E. 1000.

Les rendements à pleine charge vont en augmentant avec la puissance des moteurs : ils croissent de 80 p. 100 (engrenages compris) pour ceux de 25 chev. à 90 p. 100 pour ceux de 200 chev. Les rendements moyens varient dans la même proportion.

La figure 160, qui résume les résultats d'essais effectués au laboratoire de la General Electric Co. sur le moteur G. E. 1 000, indique comment les pertes se répartissent dans un bon moteur au régime de pleine charge, qui est ici 40 amp. : 5 p. 100 pour les frottements des paliers et des engrenages, 4 p. 100 pour l'hystérésis et les courants de Foucault dans l'induit, 3 p. 100 pour l'effet Joule dans l'induit, 4 p. 100 dans l'inducteur, soit en tout 16 p. 100.

Digitized by Google

En pratique, pour les tramways, on ne doit pas compter sur plus de 0,75 à 0,80 de rendement total en pleine charge, par suite de l'usure des engrenages qui augmente les frottements.

Les variations de charge modifient la répartition des pertes plus que leur valeur totale relative, qui, comme le montre la figure 160, reste constante entre des limites assez éloignées.

Comme on le verra mieux au chapitre de la Traction, la véritable constante caractéristique d'un moteur n'est pas sa puissance, qui dépend essentiellement de sa vitesse et, par suite, de celle des voitures et du diamètre des roues, mais bien son couple moteur normal, qui est fonction simplement du flux magnétique inducteur et de la section totale des fils de cuivre que l'induit peut porter.

Le même couple moteur peut être réalisé avec des vitesses différentes, suivant qu'on répartit cette section totale en un nombre plus ou moins grand de spires.

Deux cas sont donc à distinguer, croyons-nous, pour la définition industrielle d'un moteur de traction, suivant que la vitesse en est ou non limitée par des considérations étrangères à la construction :

1° Dans le cas des moteurs de tramways ordinaires et dans celui des moteurs « gearless » de chemins de fer, la vitesse est limitée par celle des voitures, comme on l'a vu (p. 105 et 138), à des valeurs inférieures à la limite imposée par la force centrifuge ; la puissance qu'on fait produire à l'appareil n'est qu'une fraction de sa puissance industrielle.

Le moteur ne peut donc être défini que par une seule constante, son couple moteur mesuré sur l'arbre.

Quant au couple sur l'essieu, il dépend du coefficient de réduction des engrenages et est inversement proportionnel à celui-ci, toutes choses égales d'ailleurs. Pour tirer le meilleur parti d'un moteur, on doit donc employer des engrenages ayant un coefficient aussi réduit que possible.

2° Au contraire, les moteurs de chemins de fer atteignent aisément, comme le montre le tableau de la page 139, la vitesse limite et la dépasseraient même si l'on ne réduisait la différence entre les vitesses du moteur et de l'essieu par le choix du coefficient de réduction.

Digitized by Google

Dans ces conditions, on utilise bien effectivement la puissance industrielle du moteur et celle-ci peut par conséquent servir à le définir au point de vue de la traction ; cependant, même dans ce cas, il est plus avantageux pour définition d'indiquer son couple maximum et sa vitesse maxima en nombre de tours par minute.

Nous n'avons pu faire connaître ces deux facteurs dans les renseignements monographiques que nous donnons dans le paragraphe 3 qu'autant que nous avons pu obtenir des constructeurs les éléments suffisants pour en déduire la valeur du couple.

Ce couple se mesure par le *moment* de l'effort produit à la jante des roues, en tenant compte de la réduction des engrenages, ou par la puissance du moteur, en tenant compte de la vitesse correspondante. Soit :

F l'effort de traction normal à la jante des roues, en kilogrammes ;
$n$ la vitesse correspondante du moteur, en tours par minute ;
P la puissance normale développée à la jante, en chevaux ;
R le rayon des roues, en mètres ;
$m$ le rapport du nombre de dents de la roue à celui du pignon ;
C le couple moteur utilisé à la périphérie du pignon, en kilogrammètres.

La valeur de C est donnée par l'une ou l'autre des deux expressions suivantes :

$$C = \frac{RF}{m}$$

$$C = \frac{P \times 75}{2\pi \frac{n}{60}} = 717 \frac{P}{n}.$$

Par exemple, un moteur, ordinaire de tramway, qui réalise à la jante de roues de 0,84 m. de diamètre un effort de 360 kg. avec un coefficient de réduction de 4,8, donne un couple utile, engrenages compris, de

$$\frac{0,42 \times 360}{4,8} = 31,5 \text{ kgm.}$$

Si l'on admet une perte d'énergie de 5 p. 100 dans les engrenages, le couple correspondant sur l'arbre du moteur est

$$\frac{3,15}{0,95} = 33 \text{ kgm.}$$

Un des moteurs américains les plus puissants pour grandes

Digitized by Google

automobiles, à notre connaissance, le moteur Walker n° 20, donne environ 300 kgm. Les moteurs de locomotives peuvent atteindre des puissances encore plus élevées; ceux des locomotives du Baltimore and Ohio Railroad (voir ch. VII), qui pèsent 13 tonnes, développent normalement 350 chev. à 120 tours, d'où un couple

$$C = \frac{717 \times 350}{120} = 2090 \text{ kgm.}$$

soit 2000 kilogrammètres en nombre rond.

**Poids et prix.** — D'après ce qui précède, on voit que les prix et les poids doivent être rapportés suivant les cas aux couples ou aux puissances maxima des moteurs; les valeurs les plus intéressantes sont celles rapportées au kilogrammètre de couple.

Les poids sont un peu variables suivant les constructeurs; les moteurs de tramways ordinaires à simple réduction, de 35 kgm. environ (en régime forcé), auxquels nous venons de faire allusion, pèsent en général, avec leurs engrenages, 800 à 1 000 kg.[1], soit 23 à 30 kg. par kilogrammètre, ou 2 à 3 kg. par kilogramme d'effort à la jante d'une roue de 0,80 m., dans l'hypothèse d'un coefficient de réduction voisin de 1/5.

Il est sage de compter seulement sur les chiffres les plus forts si l'on ne veut pas trop d'échauffement.

Pour les grands moteurs à simple réduction, qui ont une meilleure utilisation spécifique et qui sont mieux ventilés, le poids s'abaisse à 15 kg. environ par kilogrammètre.

Sur les chemins de fer, lorsqu'on atteint la vitesse périphérique de 20 à 25 mètres par seconde, le poids par cheval de puissance s'abaisse aux chiffres de 15 à 20 kg., et même au-dessous.

Le prix des moteurs de 800 à 1 000 kg. est compris en général entre 4 et 5 000 francs, soit 4 à 5 francs par kilogramme de poids

[1] On aura une idée des éléments dont se compose ce poids en analysant celui de 800 kilogrammes, en chiffres ronds, que pèse le moteur G. E. 800.

| | |
|---|---|
| Induit avec son pignon | 232 kg. |
| Bobines des inducteurs | 70 — |
| Carcasse en fonte | 289 — |
| Boîte des engrenages | 45 — |
| Accessoires | 24 — |
| Roue dentée | 100 — |
| Soit pour le moteur entier | 760 kg. |

Digitized by Google

total, ou 100 à 130 francs par kilogrammètre de couple utile; ces prix spécifiques doivent être abaissés pour les gros moteurs.

## § 3. — Description de quelques moteurs

Pour préciser davantage les indications précédentes, nous donnerons la description sommaire des principaux matériels moteurs

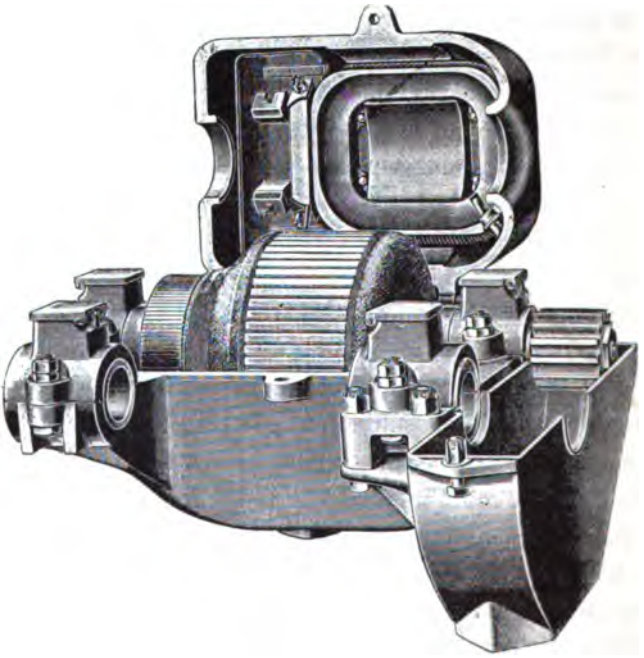


Fig. 161. — Moteur G. E. 800, ouvert.

américains et européens, ainsi que les dessins d'encombrement d'unités variées, allant de 25 à 200 chevaux; ces données pourront être utilisées pour des avant-projets dans les cas les plus divers.

Pour faciliter les recherches, nous joindrons aux descriptions des principaux moteurs les courbes représentant leur fonctionnement, bien que l'étude de celui-ci ne trouve sa place qu'au chapitre Traction.

Digitized by Google

### TYPES AMÉRICAINS

Il existe en Amérique plusieurs compagnies ayant pour spécialité la construction du matériel de traction électrique. Nous ne citerons ici que les trois principales : la General Electric Co., la Westinghouse Electric Co. et la Walker Electric Co. [1].

**Moteurs de la General Electric Co.** — Cette compagnie, la plus importante du monde actuellement, formée en 1892 par la fusion des compagnies Edison-Sprague et Thomson-Houston, a construit une quantité prodigieuse de moteurs : on estime à plus de 20 000 le nombre de ceux qu'elle a fournis déjà. Les différents types qu'elle construit en ce moment sont résumés dans le tableau ci-dessous, où leurs constantes sont indiquées dans l'*hypothèse de roues-type de* 0,84 *m. de diamètre.*

| TYPES G. E. | PUISSANCE NOMINALE en chevaux. | POIDS Avec les engrenages en kilogrammes. | EFFORT à la jante des roues en kilogrammes. | COEFFICIENT de réduction des engrenages. | COUPLE utile en kilogrammètres. |
|---|---|---|---|---|---|
| 800 | 25 | 800 | 360 | 4,78 | 32 |
| 1 000 | 35 | 1 000 | 450 | 4 | 47 |
| 1 200 | 40 | 1 350 | 540 | 3,53 | 68 |
| 2 000 | 115 | 1 950 | 900 | 3,18 | 125 |
| 2 500 | 150 | » | 1 125 | 2,5 | 189 |
| 50 | 64 | 1 600 | » | 3,88 | » |
| 51 | 82 | » | » | 1,74 | » |
| 52 | 30 | » | » | 4,78 | » |
| 53 | 63 | » | » | 3,94 | » |
| 54 | 30 | » | 400 | 4,78 | » |

Pour les cinq premiers, le numéro du type indique en livres anglaises l'effort de traction à la jante des roues de 0,84 m.

Les deux types les plus employés pour la traction des tramways sont le G.E. 800 et le G.E. 1000. Ils méritent pour ce motif une description détaillée.

*Moteur G. E. 800* (fig. 161 et 162). — Le système inducteur, représenté en coupe par les figures 163 et 164, comporte deux pôles conséquents très peu saillants sur la carcasse, disposés suivant le diamètre horizontal pour permettre de rapprocher l'arbre de l'essieu, et deux pôles radiaux saillants, vissés sur la carcasse et portant seuls des bobines ; celle du bas est exhaussée par rapport au fond de la carcasse et garantie par une gaine en métal sur une hauteur de 6 cm. Ces bobines, enveloppées d'une toile imperméable et incombustible, sont reliées au pôle mis à la terre.

[1] Les autres types tels que les moteurs Curtiss, Steel, Card, etc., sont peu répandus et ne diffèrent des précédents que par des détails peu importants.

Digitized by Google

L'armature est un tambour denté en tôles douces, isolées à l'oxyde, avec bobinage en tambour imité du bobinage Eickemeyer. Les encoches sont au nombre de 105, chacune contenant, suivant la vitesse de marche admise, deux bobines de 3, 4 ou 6 spires superposées, faites en fil rond.

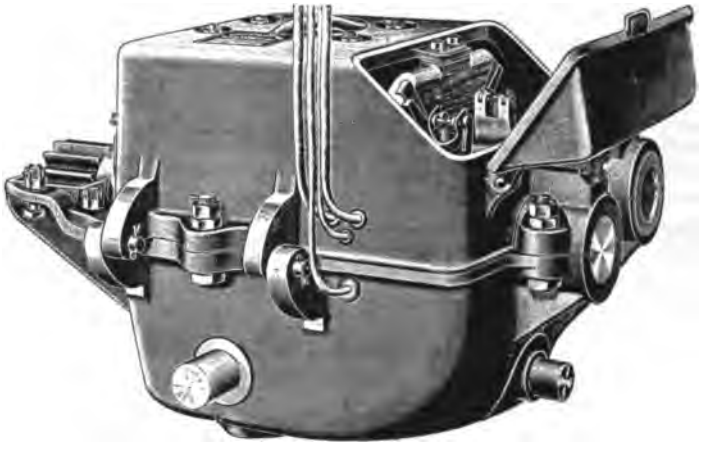


Fig. 162. — Moteur G. E. 800, fermé.

Dans chaque coche, les deux bobines sont soigneusement isolées par plusieurs couches d'enveloppes de toile isolante et plongées dans une composition spéciale ; l'isolement de chacune est mesuré séparément, puis l'armature entière est essayée à la tension de 3 500 volts alternatifs. Le couplage des sections est

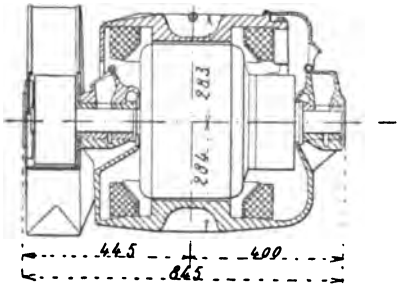



Fig. 163. — Coupe perpendiculaire à l'arbre.

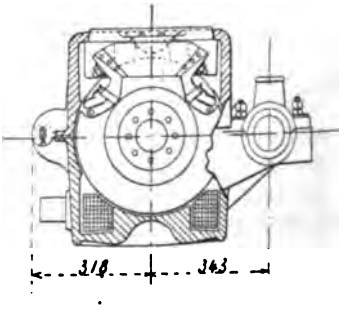
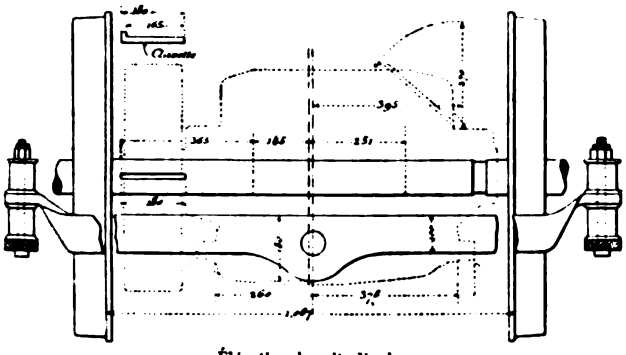



Fig. 164. — Coupe parallèle à l'arbre.

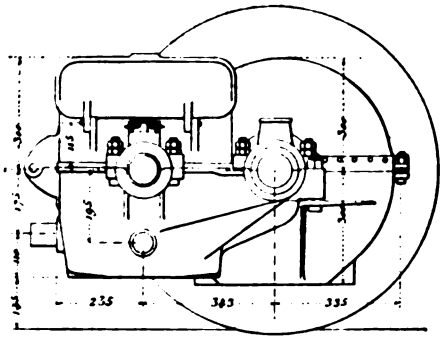
Fig. 163 et 164. — Moteur G. E. 800. — Coupes verticales.

fait en série et les deux balais calés à 90° frottent normalement au collecteur Dans le moteur à 3 spires, la résistance totale d'armature est de 0,38 ohm à froid et de 0,5 ohm à chaud, et celle des inducteurs de 0,8 ohm à chaud. Les moteurs à 4 spires sont bobinés en fil de 26/10 et portent sur leurs inducteurs 204 spires de fil de 41/10 par bobine.

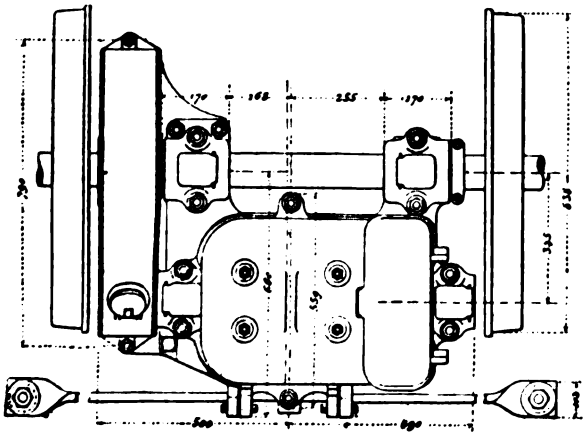
Digitized by Google



Élévation longitudinale.



Élévation transversale.



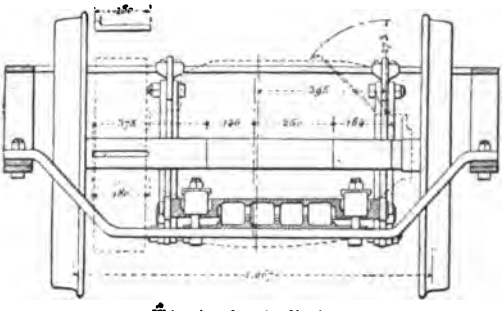
Plan.

Fig. 165. — Dessins d'encombrement du moteur G. E. 800, suspendu par le nez.

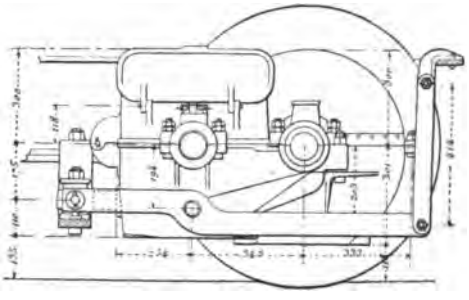


Digitized by Google

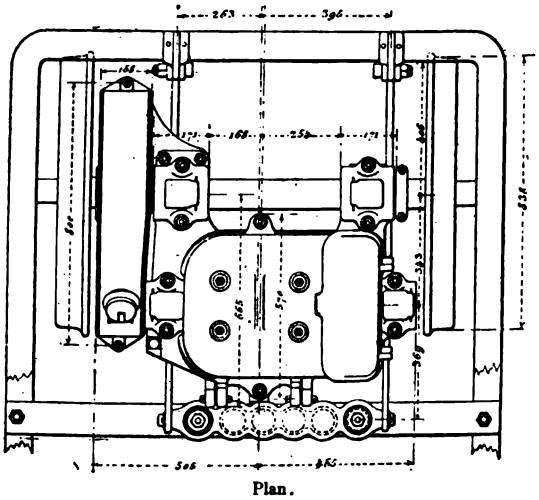
Les paliers fixés à la carcasse sont munis de coussinets en métal blanc et de boîtes à graisse; ceux de l'essieu sont en outre munis de puits à huile à la partie



Élévation longitudinale.



Élévation transversale.



Plan.

Fig. 166. — Dessins d'encombrement du moteur G. E. 800, suspendu par barres latérales.

inférieure. La présence de ces puits a été reconnue nécessaire pour la conserva-

Digitized by Google

tion des coussinets. Sous chaque palier, un petit canal d'évacuation entraîne au

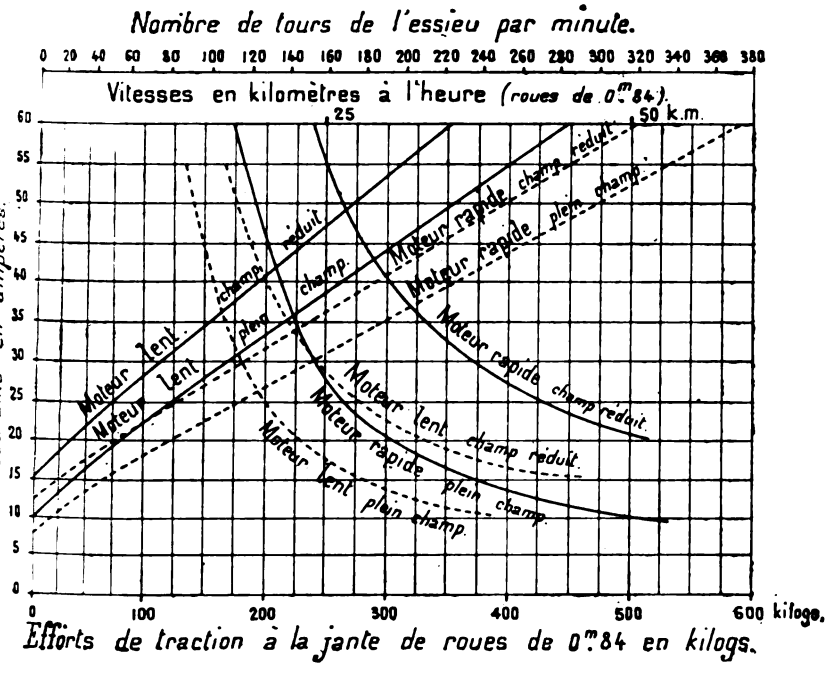



Fig. 167. — Courbes de fonctionnement du moteur G. E. 800, avec 3 ou 4 spires. Vitesse et effort de traction en fonction de l'intensité du courant.

Moteur lent, moteur à 4 spires par encoche.
Moteur rapide, moteur à 3 spires par encoche.

dehors l'excès de lubrifiant; l'armature et les bobines sont ainsi mises à l'abri de celui-ci.

Les engrenages sont en acier taillé à la fraise ; les diamètres des cercles primitifs sont 0,57 m. pour la roue et 0,118 m. pour le pignon; les nombres de dents correspondants sont de 67 et 14. La réduction ainsi obtenue est de 4,78.

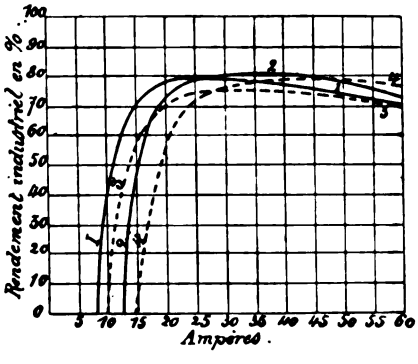



Fig. 168. — Courbes de rendement des moteurs G. E. 800.

La carcasse en acier, munie à la partie supérieure d'un petit couvercle pour la visite des balais, est formée de deux parties articulées à charnières et réunies par deux écrous, ce qui permet le démontage et la visite du moteur; la partie supérieure, articulée sur celle du bas, pèse 160 kg.; en enlevant

Digitized by Google

deux boulons, on peut l'ouvrir par la trappe du plancher et démasquer ainsi complètement le moteur. En enlevant en plus les deux goupilles des charnières, on peut dégager complètement la coquille supérieure et la soulever jusque dans la voiture. D'autre part, si l'on dégage de son attache l'avant-bec du moteur, on peut faire pivoter celui-ci autour de l'essieu comme axe dans une fosse disposée à cet effet ; on peut alors ouvrir la moitié supérieure autour de sa char-

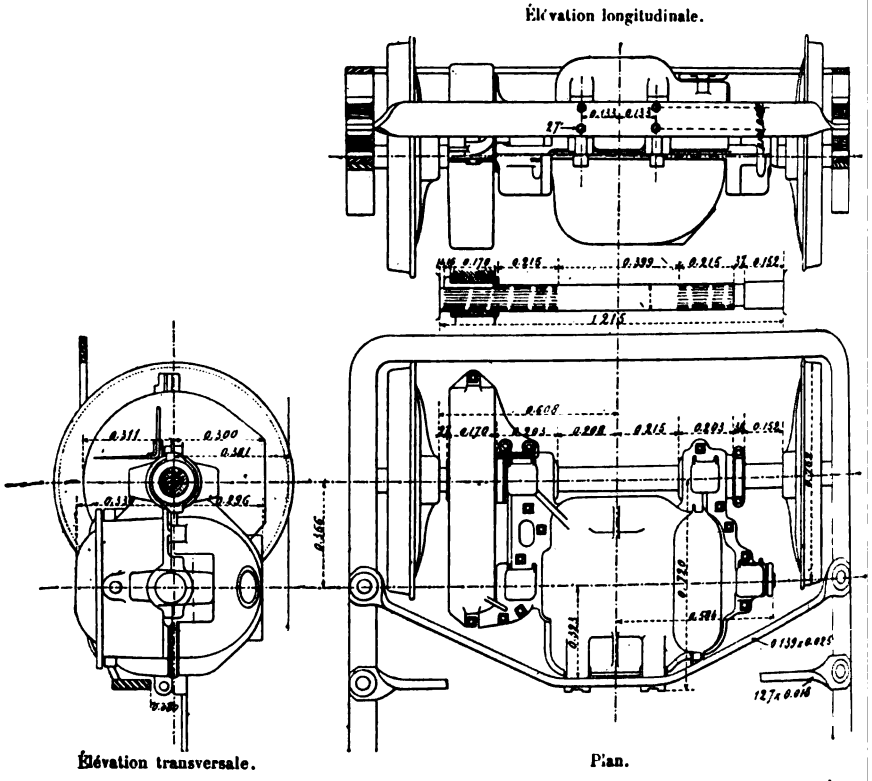



**Fig. 169.** — Dessins d'encombrement du moteur G. E. 1000, suspendu par le nez ou par joug.

nière, et retirer l'armature et les deux bobines inductrices. Enfin, en enlevant le couvercle de la boîte à engrenages et les chapeaux des deux paliers de l'essieu, on peut faire descendre en bloc le moteur dans la fosse.

Les deux modes de suspension de ce moteur ont été indiqués plus haut ; nous n'y reviendrons pas et donnerons seulement les plans détaillés qui les représentent (fig. 165 et 166).

Les dimensions sont suffisamment indiquées par les cotes de la figure.

La largeur du moteur à partir de l'essieu est de 0,665 m. ; sa hauteur, d'environ 0,600 m. ; la partie la plus basse est à 0,302 m. au-dessous de l'axe de l'essieu. La longueur suivant l'axe atteint au total 0,990 m., ce qui, si l'on tient compte du jeu nécessaire et de l'épaisseur des boudins des roues, ne permet pas d'employer ce moteur sur des voies de moins de 1,20 m. Pour la

Digitized by Google

voie de 1,00 m., on le remplace par le G. E. 54, qui lui est exactement équivalent. Le poids total est d'environ 800 kg., tandis que pour la même puissance le moteur W. P. en pesait 1013.

Les propriétés pratiques du moteur sont résumées sous forme de courbes dans les figures 167 et 168.

Quel que soit le nombre de spires, les moteurs G. E. 800 sont capables

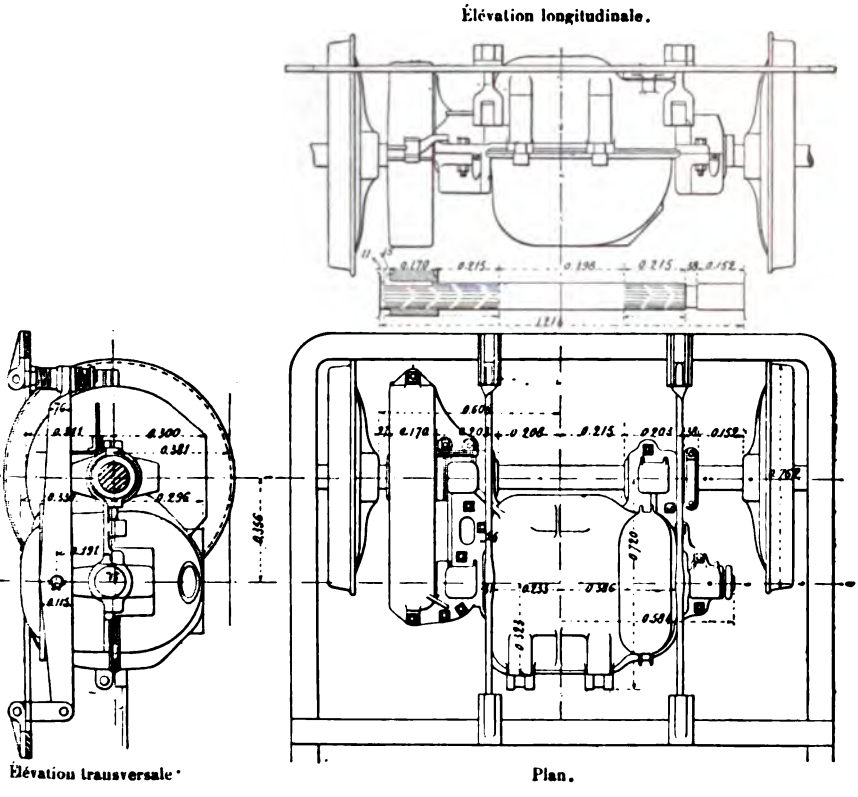



Fig. 170. — Dessins d'encombrement du moteur G. E. 1000, suspendu par barres latérales.

d'exercer momentanément un couple de 150 à 200 kilogrammètres ; mais leurs vitesses sont différentes suivant ce nombre. Le moteur à 3 spires marche à la vitesse de 56,6 km : h. (roues de 0,84), avec un courant de 57 amp. et une puissance aux bornes de 28,5 kw. ; le moteur à 4 spires marche à 14 km : h. avec un courant de 48 amp. et une puissance de 24 kw. ; enfin le moteur à 4 spires marche à 7 km : h. avec une puissance de 14 kw. et un courant de 28 amp.

Le premier ne convient qu'en Amérique ou sur les lignes de banlieue où l'on admet des vitesses de 25 à 30 km : h. ; le second s'applique aux services urbains tels que celui du Havre où l'on accepte les vitesses de 15 à 20 km : h. Le troisième est avantageux dans les villes populeuses et très fréquentées, où les

Digitized by Google

arrêts et les démarrages se succèdent sans interruption et où la vitesse ne dépasse pas 12 à 15 km : h.

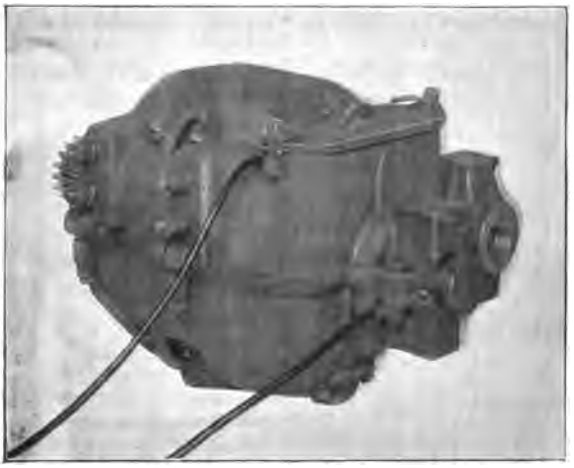


Fig. 171. — Moteur G. E. 1000, fermé.

*Moteur G. E. 1000.*— Les figures 169 et 170 donnent les dimensions principales et les deux modes de suspension de ce moteur, par bec et par joug, procédés décrits plus haut. Les figures 171 et 172 en montrent la construction.

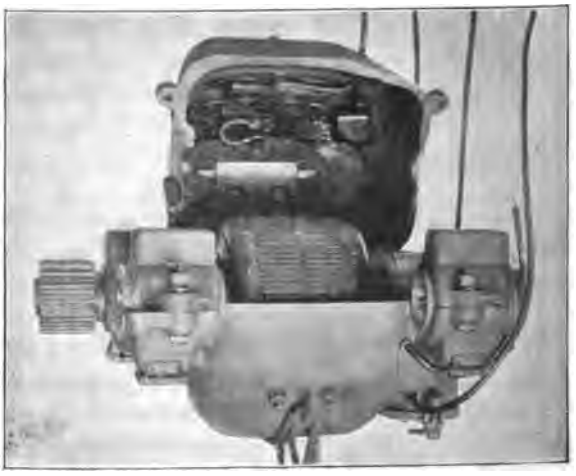


Fig. 172. — Moteur G. E. 1000, ouvert.

La forme générale diffère peu de celle du G. E. 800, si ce n'est que les quatre pôles sont munis de bobines et disposés suivant la forme adoptée d'abord par la compagnie Westinghouse. On augmente ainsi la surface de refroidissement des bobines d'inducteurs.

Digitized by Google

ent sans interruption et où la vitesse

Moteur G. E. 1000, fermé.

es 169 et 170 donnent les dimensions pour
nsion de ce moteur, par bec et par joug, p
es 171 et 172 en montrent la construction

— Moteur G. E. 1000, ouvert.

u de celle du G. E. 800, si ce n'est que les
et disposés suivant la forme adoptée d'abord
On augmente ainsi la surface de refroidisse



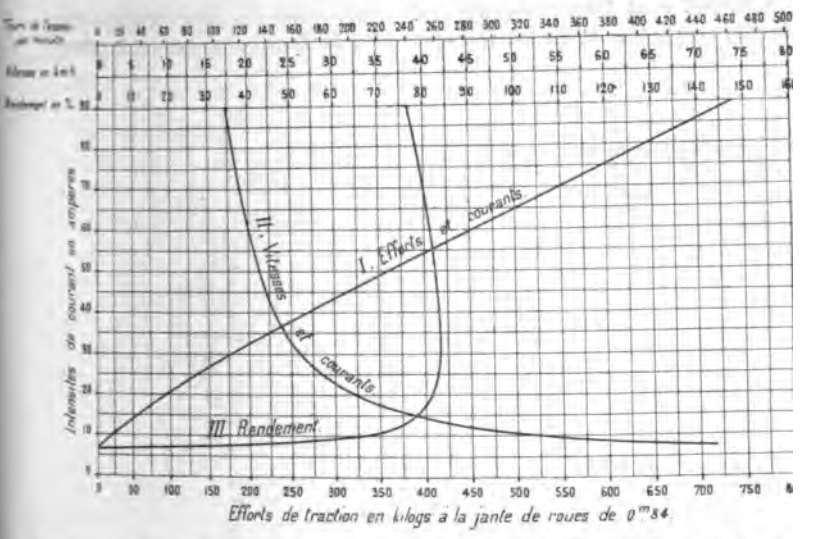



Fig. 173. — Courbes de fonctionnement du moteur G.E. 1000. — Vitesse, effort de traction à la jante de roues de 0,84 m. et rendement en fonction de l'intensité du courant.

Fig. 174. — Moteur G.E. 2000. — Aspect extérieur.

Digitized by Google

Celles-ci sont interchangeables et retenues par des pièces polaires débordantes rapportées et maintenues par deux boulons qui traversent la culasse ;

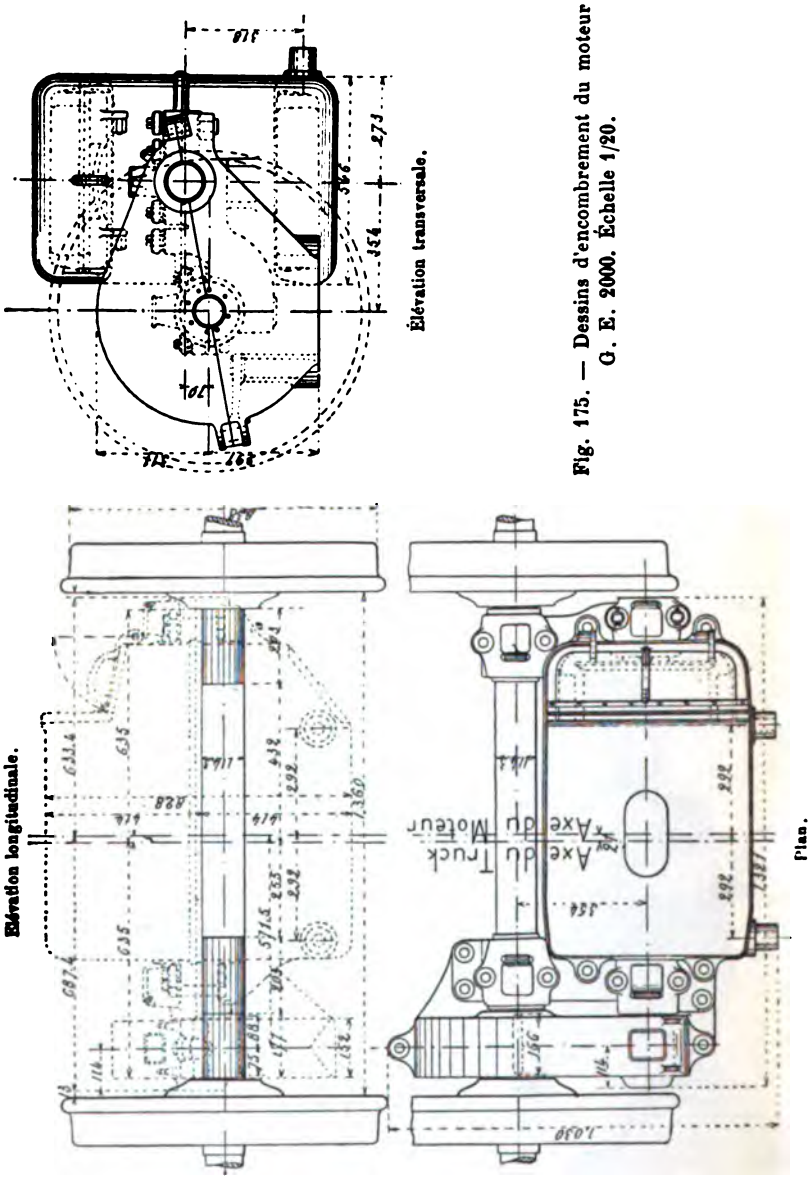



Fig. 175. — Dessins d'encombrement du moteur G. E. 2000. Échelle 1/20.

elles sont formées chacune de 133 tours en fil n° 4 B. et S. (21,15 mm²) ; leur résistance totale est de 0,477 ohm. Une ouverture placée au bas de l'enveloppe et fermée par une plaque à joint étanche permet de retirer les matières étran-

Digitized by Google

gères du moteur. Le poids des inducteurs est de 400 kg. pour la demi-culasse supérieure et de 225 kg. pour la demi-culasse inférieure.

L'armature dentée est analogue à celle du G. E. 800, avec cette différence

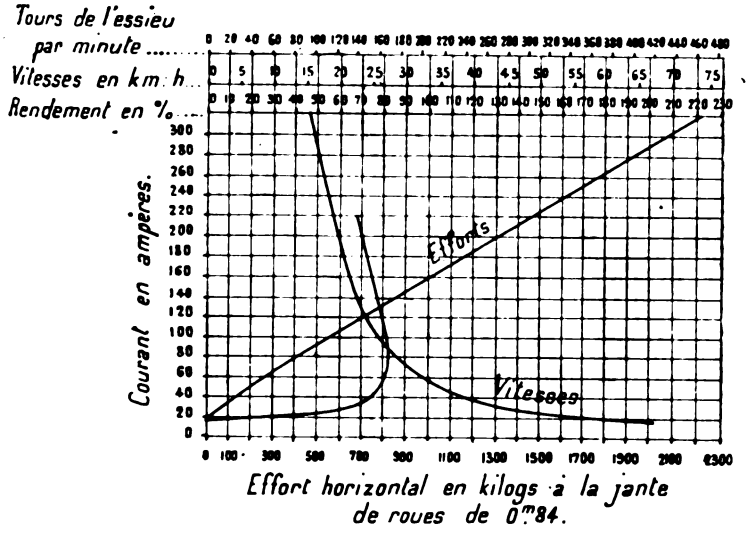



Fig. 176. — Courbes de fonctionnement du moteur G.E. 1200.—Vitesse, effort à la jante et rendement en fonction de l'intensité du courant.

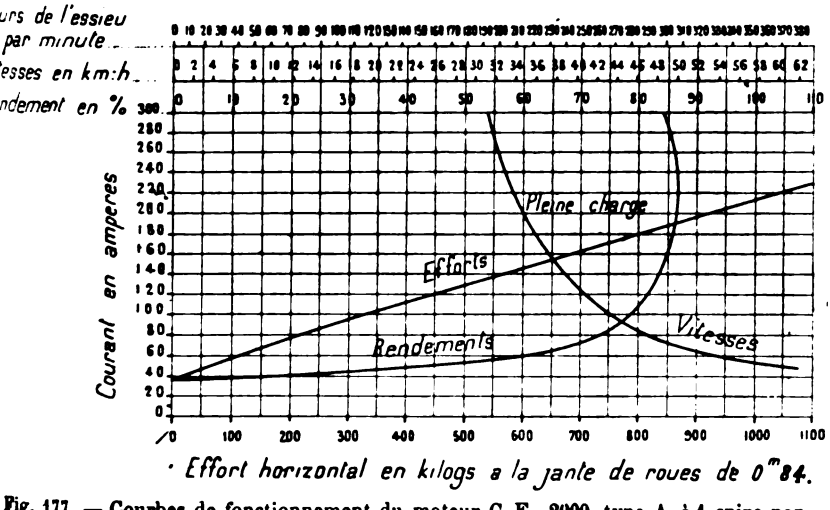



Fig. 177. — Courbes de fonctionnement du moteur G.E. 2000, type A, à 1 spire par section. — Vitesse, effort à la jante et rendement en fonction de l'intensité du courant.

que le petit bout du fil sortant part du milieu de l'extrémité de chaque bobine, ce qui facilite le démontage de l'enroulement en permettan de relever moitié

Digitized by Google

moins de sections qu'auparavant. Le diamètre de l'armature est de 365 mm. et son poids de 50 kg. Elle contient 93 sections de 4 tours chacune en fil n° 9 B. et S. (6,63 mm²). Sa résistance est de 0,393 ohm à chaud, ce qui fait pour le

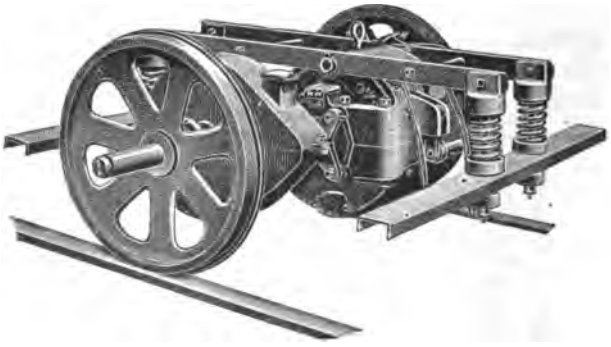


Fig. 178. — Moteur Westinghouse, ancien n° 12, suspendu par pivots et barres latérales.

moteur 0,87 ohm au total. L'entrefer est de 3 mm. pour les pôles du haut et 3,75 mm. pour ceux du bas, afin d'équilibrer l'armature par une attraction plus forte vers le haut.

Le commutateur comporte 93 touches et a 210 mm. de diamètre; il ne

Fig. 179. — Moteur Westinghouse n° 12 A, fermé.

laisse pas pénétrer d'huile sous les segments, et est maintenu en place par un écrou et un contre-écrou. Le porte-balai est bien isolé et recouvert d'un émail sur lequel la poussière ne prend pas.

Les paliers avec coussinets en métal antifriction sont bien proportionnés et permettent l'emploi de graisse consistante ou d'huile imbibant des déchets de laine; aucune trace de lubrifiant ne peut pénétrer dans le moteur. La réduction est de 67 : 17 ou 3,94.

Digitized by Google

Le poids du moteur seul est de 890 kg., pour un effort de traction normal de 453 kg. à la jante de roues de 0,84 m. Les courbes de la figure 173 défi-

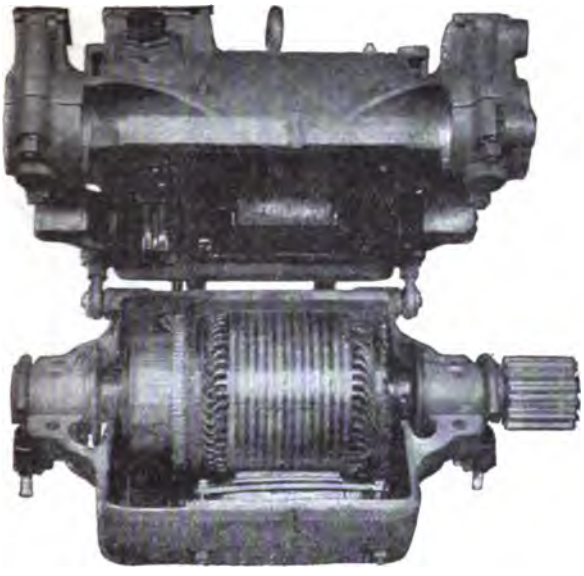


Fig. 180. — Moteur Westinghouse n° 12 A, ouvert.

nissent d'une manière complète les propriétés théoriques et pratiques de ce moteur.

Les autres types de la General Electric Co. s'appliquent plus spécialement à la

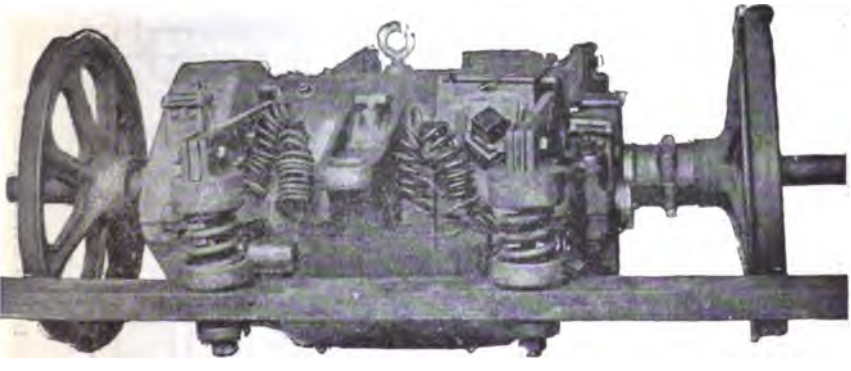


Fig. 181. — Le même monté, avec suspension par barres latérales.

traction sur les chemins de fer. Les deux plus employés sont le G.E. 1200, qui développe en marche normale 40 chevaux avec un rendement de 83 p. 100, engrenages compris, et le G. E. 2000, qui atteint une puissance de 125 chevaux à la vitesse périphérique de 20 m : s., avec un rendement de 88 p. 100; tous deux présentent la même forme générale que le G.E. 800.

Digitized by Google

La figure 174 représente l'aspect extérieur du G.E. 2000. La figure 175 en donne les dimensions et le mode de suspension par le nez. Les courbes de

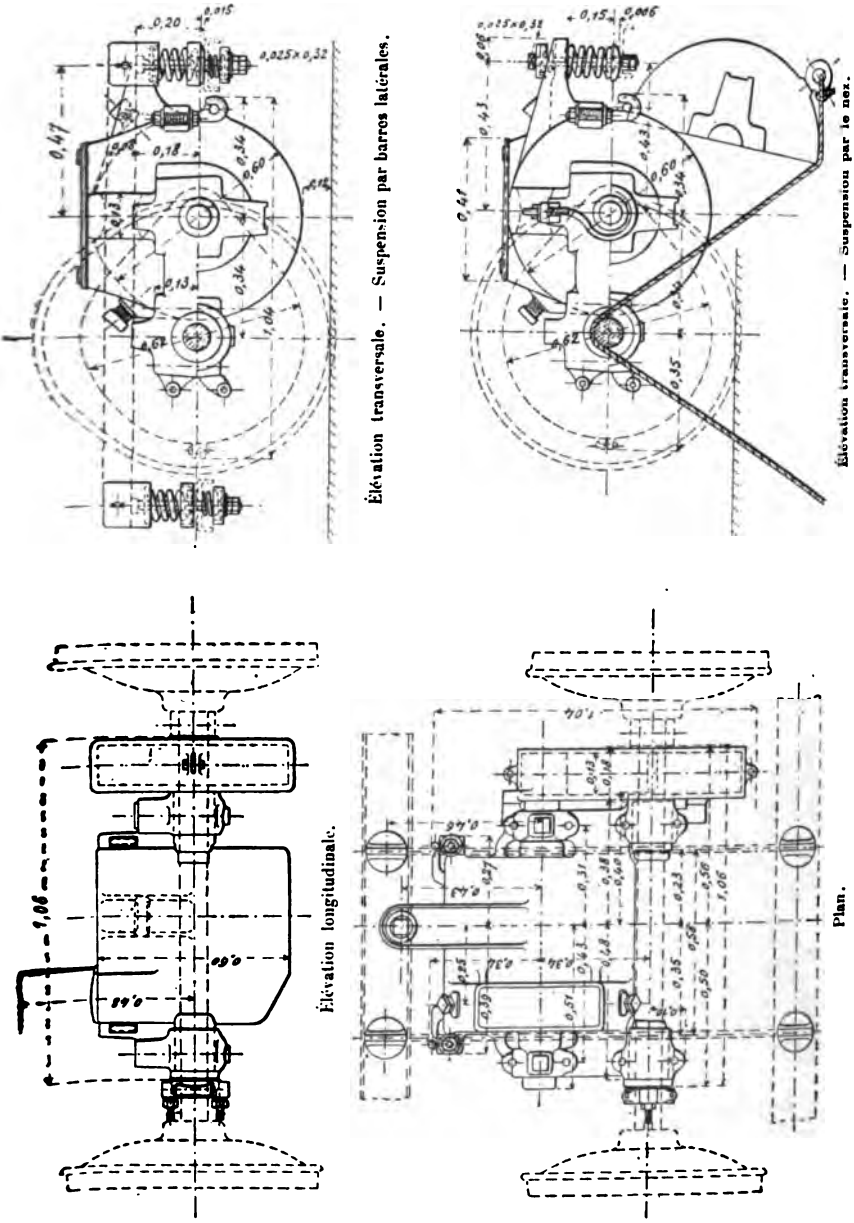



Fig. 182. — Dessins d'encombrement du moteur Westinghouse n° 12 A, de 30 chev., avec ses deux modes de suspension, par le nez et par barres latérales. Échelle 1/20.

fonctionnement des moteurs 1200 et 2000 sont données par les figures 176 et 177. Le moteur G. E. 50 est employé sur les automobiles du pont de Brooklyn.

Digitized by Google

La même compagnie a établi aussi pour ses locomotives des types de moteurs à commande directe, dont la description trouvera mieux sa place au chapitre VII.

**Moteurs Westinghouse.** — Ces moteurs, qui dérivent du type décrit plus haut (moteur n° 3, p. 146), ont subi plusieurs modifications.

| NUMÉRO de VENTE | PUISSANCE EN CHEVAUX à la vitesse de 16 km : h. | EFFORT DE TRACTION à la jante de roues de 0,84 m. en kg. | COEFFICIENT de RÉDUCTION | COUPLE en kilogrammètres. |
|---|---|---|---|---|
| 12 A | 25 et 30 | 400 et 500 | 1 : 4,86 | 34,5 et 43 |
| 36 | 40 | 750 | 1 : 4,86 | 64 |
| 38 | 50 | 1000 | 1 : 3,91 | 107 |

La carcasse a été rendue étanche et allégée, le cadre a d'abord été réuni à l'enveloppe dans le type n° 12 représenté par la figure 178. puis supprimé dans les types plus récents que résume le tableau ci-dessus.

Les moteurs 12 A et 38 sont tétrapolaires, avec pôles de chaque côté de la verticale de l'axe; tous ces pôles sont semblables et portent des bobines excitatrices. Le mode de suspension, très élastique, a été décrit plus haut.

Les figures 179, 180, 181 représentent l'aspect extérieur et intérieur du n° 12 A, type ordinaire de 25 chevaux pour tramways.

L'enveloppe formée par les inducteurs, divisée en deux moitiés réunies par des charnières, est complètement fermée, et les paliers sont placés en dehors pour empêcher l'huile ou la graisse de pénétrer dans l'intérieur du moteur. La moitié supérieure porte une petite fenêtre fermée par un volet à ressort pour la visite du collecteur; la moitié inférieure est munie de trois ouvertures à fermeture hermétique, qui permettent les visites et nettoyages courants sans qu'il soit nécessaire d'ouvrir l'enveloppe.

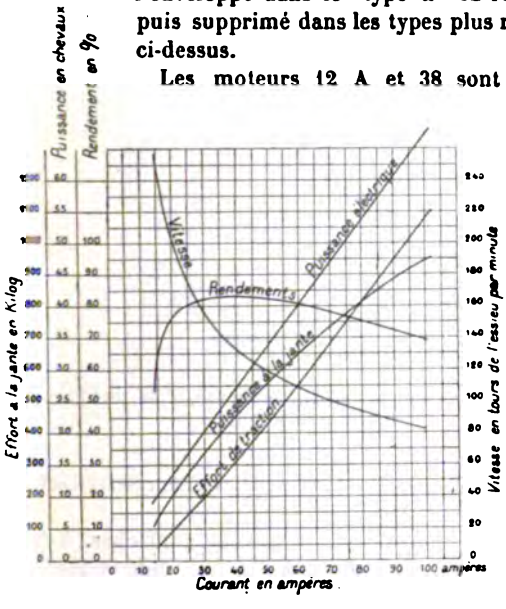



Fig. 183. — Courbes de fonctionnement du moteur Westinghouse n° 12 A, de 30 chevaux à faible vitesse, en fonction du courant (roues de 0,762 m.).

Digitized by Google

L'armature en tambour présente quelques caractères intéressants. D'abord on a cherché à la rendre aussi légère que possible et de faible diamètre pour réduire son inertie au moment de l'arrêt de la voiture, ce qui réduit l'usure des engrenages. En second lieu, les enroulements sont exécutés de la façon nouvelle indiquée plus haut (p. 182). Enfin, les extrémités sur les bases ne sont plus aplaties, mais au contraire elles sont bien dégagées les unes des autres (p. 175) et des trous longitudinaux sont pratiqués dans le noyau parallèlement à l'axe, de façon à assurer une ventilation complète de toute l'arma-

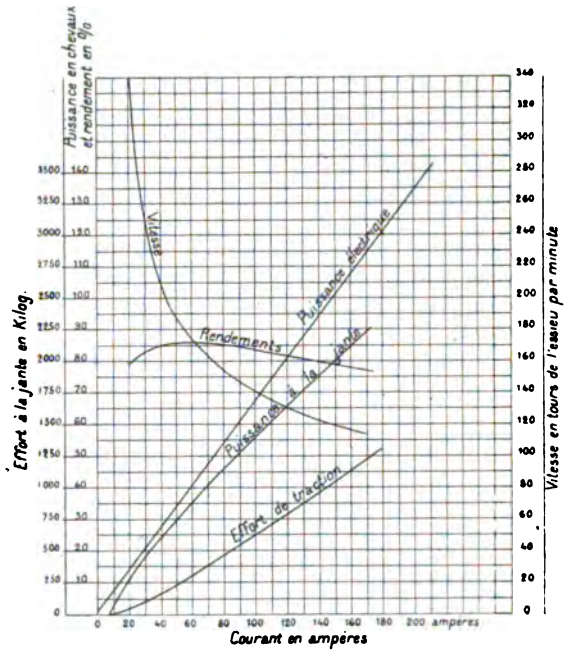



Fig. 184. — Courbes de fonctionnement du moteur Westinghouse, n° 38, de 50 chevaux, en fonction de l'intensité du courant.

ture et à entretenir dans le moteur une circulation d'air qui empêche l'échauffement excessif d'une de ses parties.

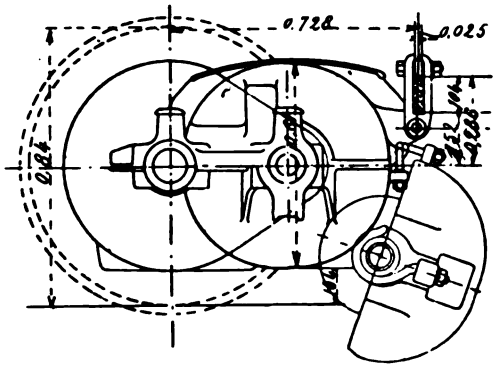
Le moteur 12 A est construit en trois types : 25 chev. ; 30 chev. à faible vitesse ; 30 chev. à grande vitesse. La figure 182 indique les dimensions principales et la suspension du moteur de 30 chevaux ; ses courbes de fonctionnement sont données par la figure 183 dans l'hypothèse de roues de 0,762 m. avec réduction 14 : 68. Il supporte 50 amp. pendant 1 h. 1/2.

Des moteurs analogues sont construits pour 40 et 50 chevaux.

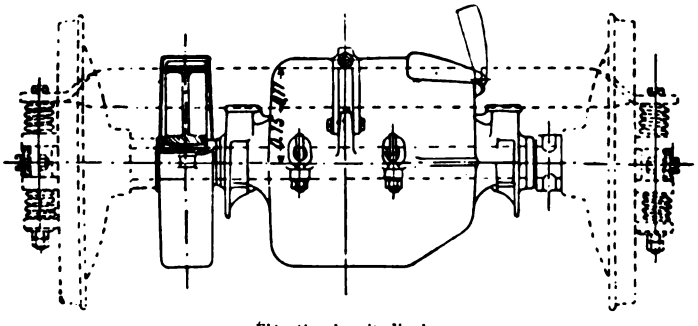
Le type de 50 chevaux n° 38 est représenté avec ses deux modes de suspension par les figures 185 et 186. La figure 184 donne en outre ses courbes de fonctionnement dans l'hypothèse de roues de 0,914 m. avec réduction 18 : 64 ; il supporte 90 amp. pendant 1 h.

Les grands ateliers de construction de locomotives de Baldwin à Philadel-

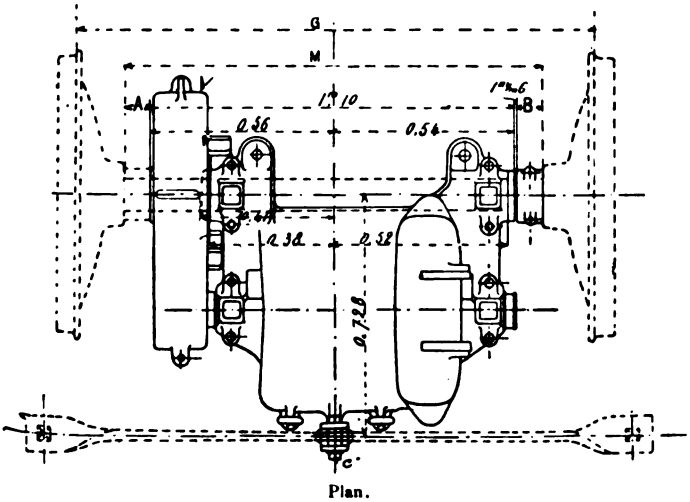
Digitized by Google




Élévation transversale.




Élévation longitudinale.

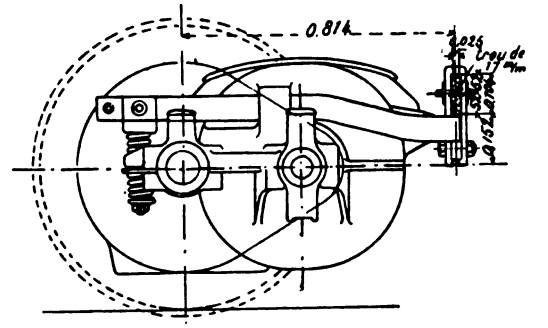



Plan.

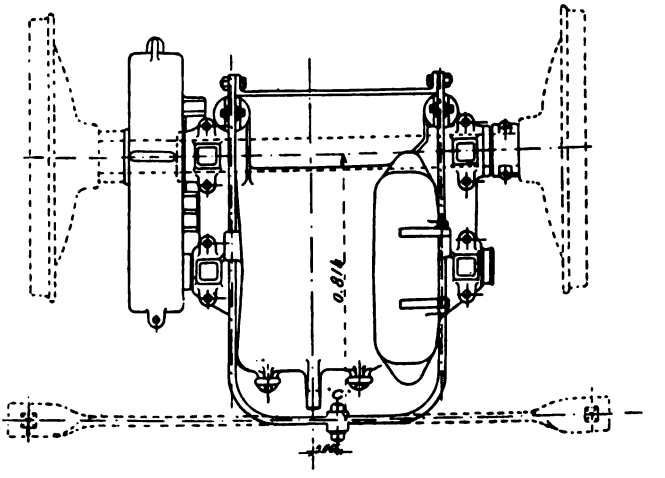
Fig. 185. — Dessins d'encombrement du moteur Westinghouse n° 38, de 50 chevaux, avec suspension par le nez. Échelle 1/20.

Digitized by Google

phie se sont récemment associés avec la compagnie Westinghouse pour la réalisation de locomotives électriques ; les moteurs employés sur celles-ci et dont les figures 147, 148 et 187 indiquent suffisamment la construction, sont analogues au type G.E. 2000 décrit ci-dessus, avec pôles conséquents sur les côtés. Ils sont établis pour trois puissances : 50, 100 et 200 chevaux ; on modi-




Élévation transversale.




Plan.

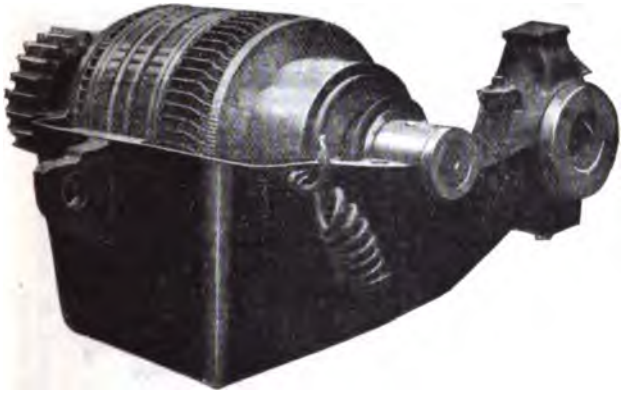
Fig. 186. — Dessins d'encombrement du moteur Westinghouse n° 38, avec suspension par cadre.

fie les engrenages suivant la vitesse d'exploitation prévue. Les courbes de fonctionnement des moteurs de 100 et 200 chevaux sont donnés par les figures 188 et 189.

**Moteurs Walker.** — Les débuts de ces moteurs ont été modestes ; le premier était un moteur de 35 chev. à inducteurs en fonte ne pesant pas moins

Digitized by Google

Moteur fermé.



Moteur ouvert.

Armature.

**Fig. 187.** — Moteurs Baldwin-Westinghouse pour locomotives et grandes automobiles de chemins de fer.



Digitized by Google

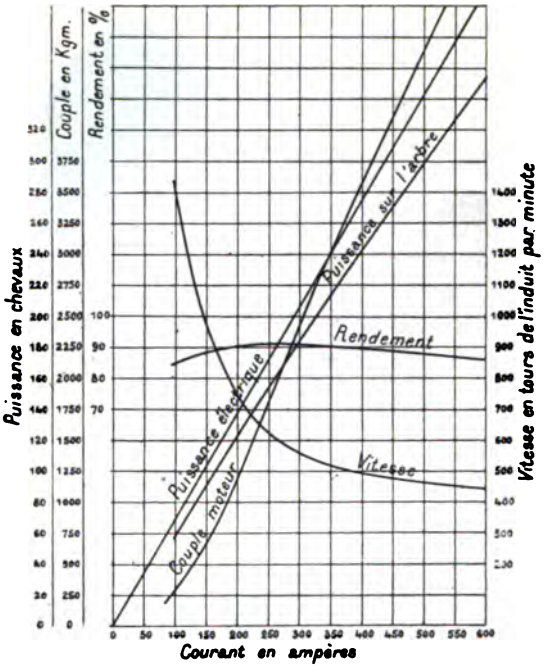



Fig. 189. — Courbes de fonctionnement du moteur Baldwin-Westinghouse de 200 chevaux.

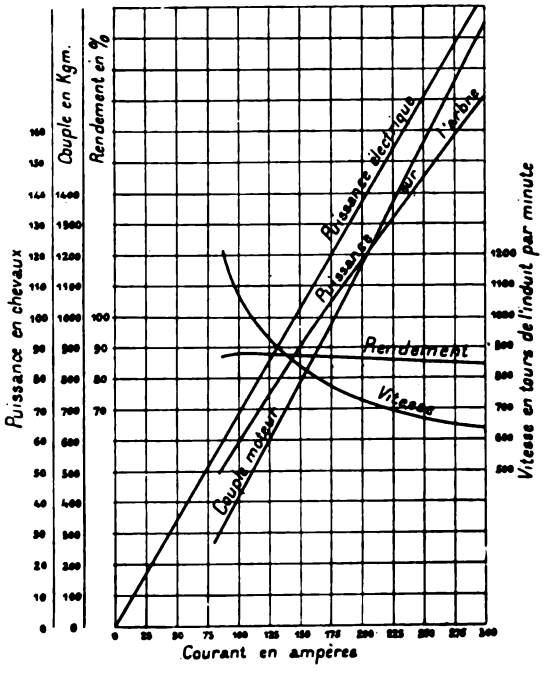



Fig. 188. — Courbes de fonctionnement du moteur Baldwin-Westinghouse de 100 chevaux.

Digitized by Google

de 1 150 kg. En 1892, la compagnie Walker a adopté l'acier et changé complètement son mode de construction. Son matériel est aujourd'hui un des meilleurs connus; sa principale originalité consiste dans le mode de suspension qui a été signalé plus haut et que la figure 190 rappelle suffisamment. Il présente en outre des dispositions mécaniques très simples et bien comprises.

Les inducteurs, du type à 4 pôles, sont formés de deux parties réunies par des charnières qui permettent le démontage sur fosse ou par les trappes de la voiture. Les bobines d'inducteurs, faites à la machine, sont isolées par plusieurs couches de mica, puis recouvertes d'un ruban protecteur et de trois couches d'un vernis isolant imperméable; elles sont maintenues chacune par un seul boulon, qui permet de les changer rapidement.

Les paliers sont extérieurs à l'enveloppe, et la graisse qui chemine le long de l'arbre s'écoule par de larges ouvertures ayant 10 × 7,5 cm. de section. Les coussinets sont en bronze doublé de métal blanc.

Les engrenages sont en acier forgé et coulé; leur enveloppe est en fonte malléable.

L'armature montée sur tube (fig. 125, p. 156) est du type tambour denté à bobines interchangeables isolées au mica et au carton : l'essai d'isolement a lieu à 5 000 volts, de même que pour le commutateur.

La figure 191 donne l'aspect général d'un moteur de tramways Walker monté sur son essieu.

Les moteurs Walker sont construits dans cinq dimensions principales, indiquées au tableau commercial suivant :

| NUMÉRO DE VENTE | PUISSANCE nominale EN CHEVAUX | EFFORT NORMAL à la jante de roues de 0,84 m. | COEFFICIENT DE RÉDUCTION | COUPLE en kilogrammètres à la vitesse de 16 km : h. |
|---|---|---|---|---|
| 3 | 25 | 350 | » | » |
| 4 | 30 | 450 | 1 : 4,78 | 37 |
| 5 | 35 | 550 | » | » |
| 10 | 50 | 900 | 1 : 3,23 | 110 |
| 15 | 75 | 1 350 | 1 : 3.32 | 170 |
| 20 | 125 | 2 250 | » | » |

Plus exactement, le n° 3 donne un effort de traction de 360 kg. à la vitesse de 16 km : h., ou environ 21,5 chev. de puissance ; ce moteur est applicable aux voies étroites aussi bien qu'aux voies larges : c'est le type normal des tramways.

Le n° 4 donne, dans les mêmes conditions, un effort de 420 kg. ou environ 25 chev. de puissance, et permet de réaliser des vitesses maxima de 40 km. à l'heure ; son poids est de 550 kg, sans engrenages ; l'arbre, très robuste, a 78 cm. de diamètre, réduit à 53 cm. dans les portées des paliers.

Le n° 5 donne, à 16 km : h., 510 kg. et environ 30 chev.

Ces deux types sont employés pour les services urbains chargés.

Digitized by Google

Le n° 10 donne 840 kg. à 16 km : h. et environ 50 chev.; il est employé à peu près exclusivement pour les services suburbains et interurbains, et sa vitesse peut atteindre 30 et même 60 km : h., en palier et à vide.

Le n° 20, donnant 2 090 kg. à 16 km : h. et environ 125 chev., est destiné aux lignes métropolitaines et grandes lignes.

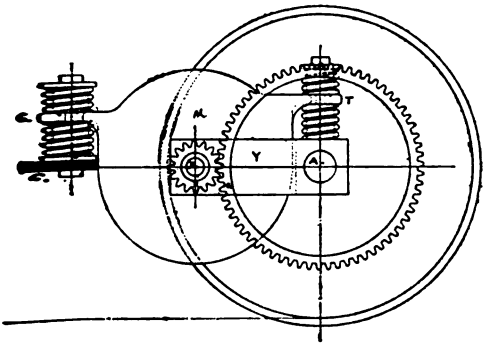



Fig. 190. — Moteur de tramways de la Cie Walker. — Suspension.

Fig. 191. — Moteur de tramway de la Cie Walker. — Vue d'ensemble.

La figure 192 représente la disposition d'ensemble et l'encombrement des moteurs nos 5 et 10 adaptés à une voiture de tramway, et les cotes correspondantes sont résumées dans le tableau suivant :

| COTES | N° 5 | N° 10 |
|---|---|---|
| A | 0,38 m. | 0,42 m. |
| B | 0,60 | 0,635 |
| C | 0,56 | 0,57 |
| D | 0,63 | 0,725 |
| E | 0,38 | 0,42 |
| F | 0,19 | 0,19 |
| G | 0,06 | 0,06 |
| H | 0,04 | 0,04 |
| J | 0,05 × 0,10 | 0,05 × 0,10 |
| K | 0,84 | 0,84 |

Le moteur n° 20 (fig. 195) donne un exemple d'un des plus puissants moteurs de traction existants; les figures 193 et 193 *bis* en montrent les dispositions générales et l'encombrement. On doit regretter qu'on n'ait pu adapter à ce moteur la suspension parfaite, comme aux petits modèles, et qu'on ait simplement employé la suspension par le nez qui reporte seulement la moitié du poids sur le truck.

Digitized by Google

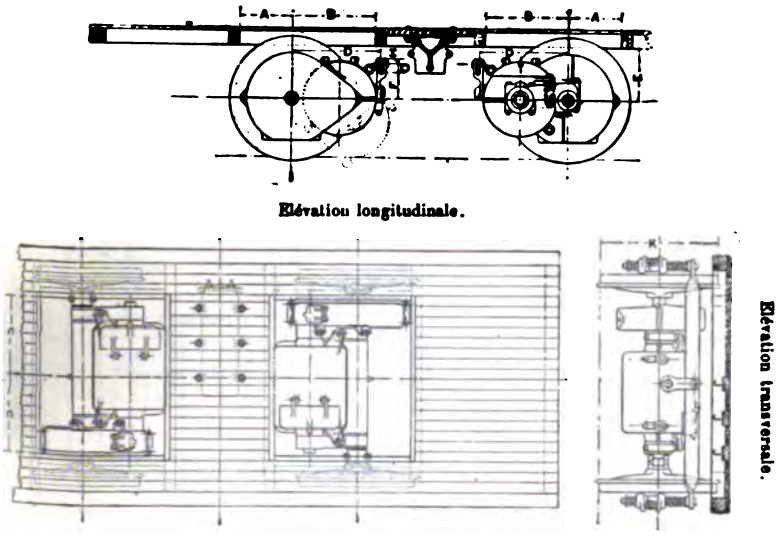



Fig. 192. — Dessins d'encombrement des moteurs Walker pour tramways, n°s 5 et 10.

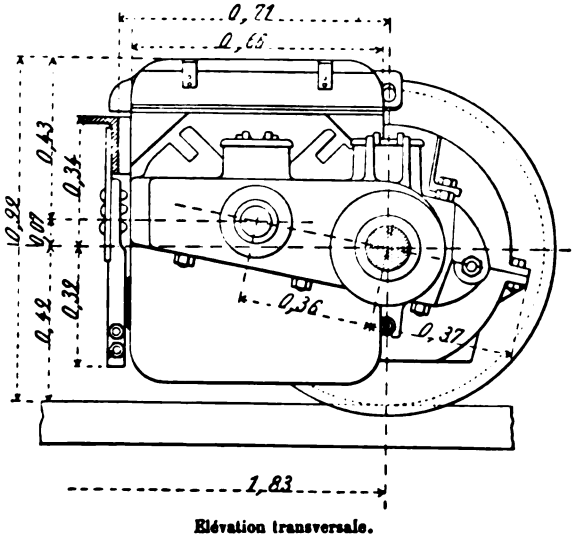
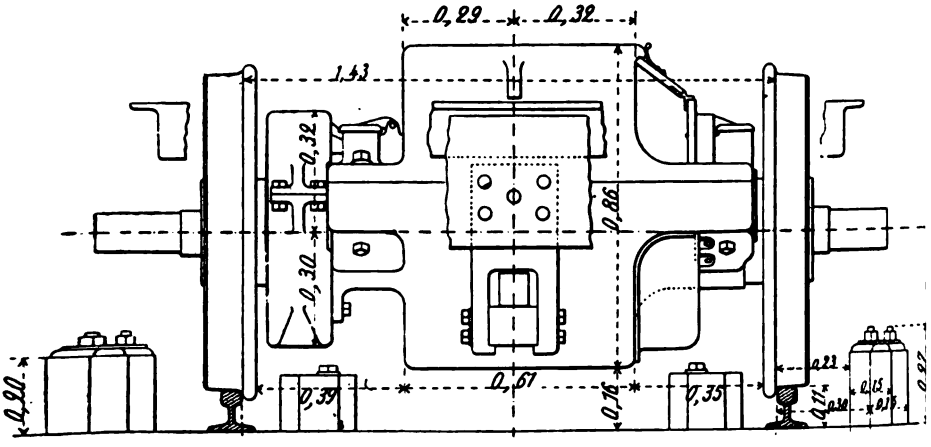



Fig. 193. — Moteur Walker n° 20 pour chemins de fer. Elévation transversale. — Echelle 1/20.

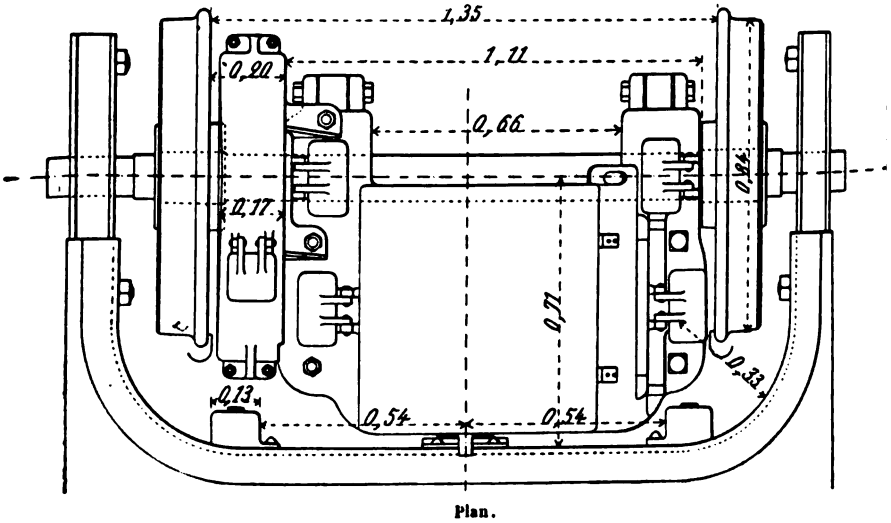
A l'opposé de l'échelle, un exemple très intéressant de moteur électrique appliqué à un cas particulier difficile est fourni par le nouveau type créé par la

Digitized by Google

même compagnie pour l'exploitation de tout un réseau de chemins de fer industriels à voie très étroite (0,785 m.) dans la Haute-Silésie ; la figure 194 en donne




Elévation longitudinale.




Plan.

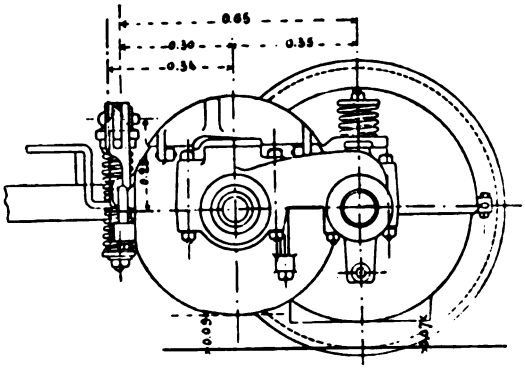
Fig. 193 *bis*. — Moteur Walker n° 20. — Elévation longitudinale et plan. — Echelle 1/20.

les dessins d'encombrement. Ces moteurs de 18 à 20 chevaux à la vitesse de 35 tours sont au nombre de 4 par voiture automobile.

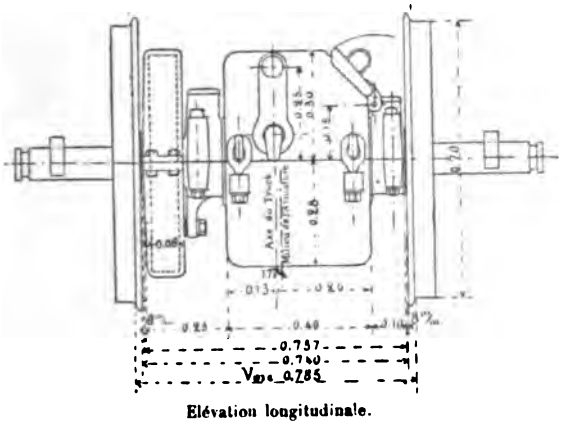
### TYPES EUROPÉENS

Les constructeurs européens, après être restés longtemps en

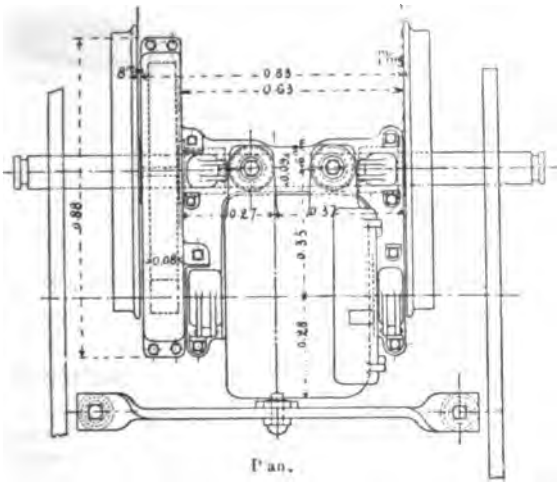
Digitized by Google




Elévation transversale.




Elévation longitudinale.




Plan.

**Fig. 194. — Dessins d'encombrement du moteur Walker de 25 chevaux pour voie étroite. — Echelle 1/20.**

Digitized by Google

retard, ont imité les dispositifs américains, et plusieurs grandes maisons fournissent aujourd'hui[1] des appareils analogues, qui, répondant plus spécialement aux desiderata européens, ne dépassent pas en général les puissances de 20 ou 25 chevaux, à la vitesse de 12 à 17 km : h.; il n'existe pas encore de type courant à

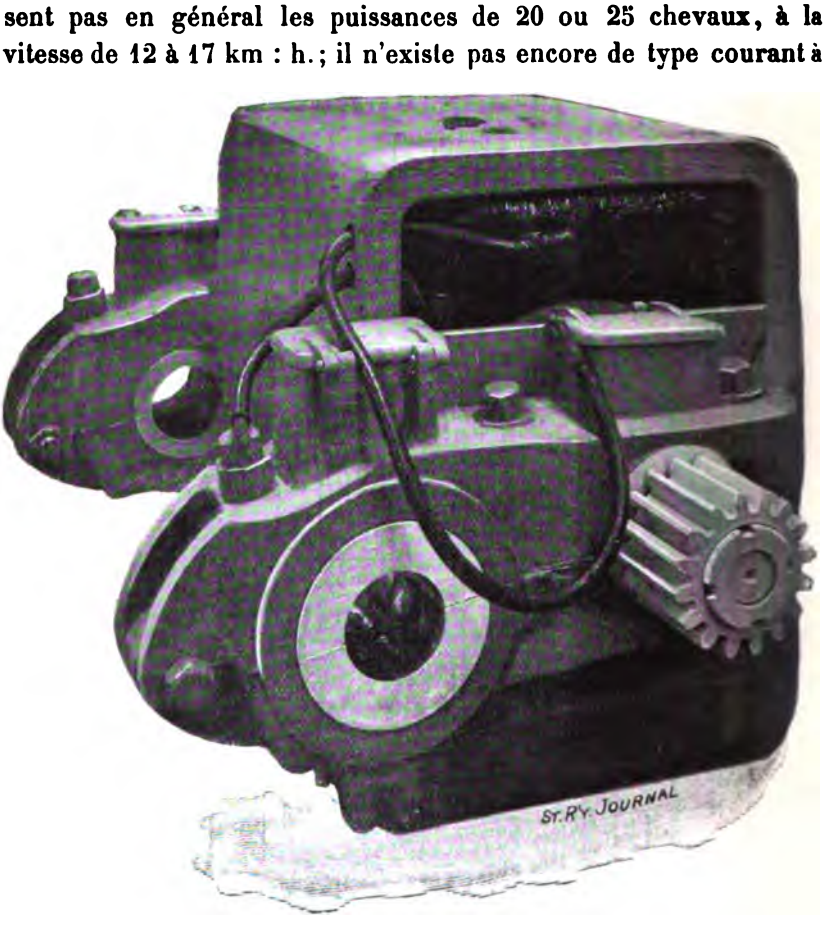



Fig. 195. — Moteur Walker de 125 chevaux.

simple réduction pour lignes de chemins de fer, l'équipement à 4 moteurs sur deux bogies satisfaisant jusqu'ici à tous les besoins.

**Compagnie française Thomson-Houston, Compagnie anglaise Thomson-Hous-**

[1] On doit déplorer, en ce qui concerne notre pays, que nos principaux constructeurs, au lieu de suivre ce qui se faisait en Amérique et de s'en inspirer pour créer eux-mêmes des matériels équivalents, comme l'ont fait les grandes sociétés allemandes et suisses, aient préféré aller acheter à ces sociétés leurs modèles. Il y a là une preuve affligeante de notre manque d'initiative national toujours croissant.

Digitized by Google

**ton et Union Elektricitäts Gesellschaft.** — Ces compagnies exploitent respectivement les brevets de la « General Electric Co. » et vendent le même matériel. Celui de la Compagnie française est construit en général (notamment le G. E. 800) dans les Établissements Postel-Vinay.

**Siemens und Halske et Société alsacienne de Constructions mécaniques.** — Après avoir utilisé jusqu'en 1894 l'ancien type de Budapest décrit plus haut (p. 143) et avoir construit pour la ligne Berlin-Pankow un type du genre américain, la Société Siemens et Halske a créé un type de moteur original et parfaitement étudié, qu'elle exploite en Allemagne et que la Société alsacienne

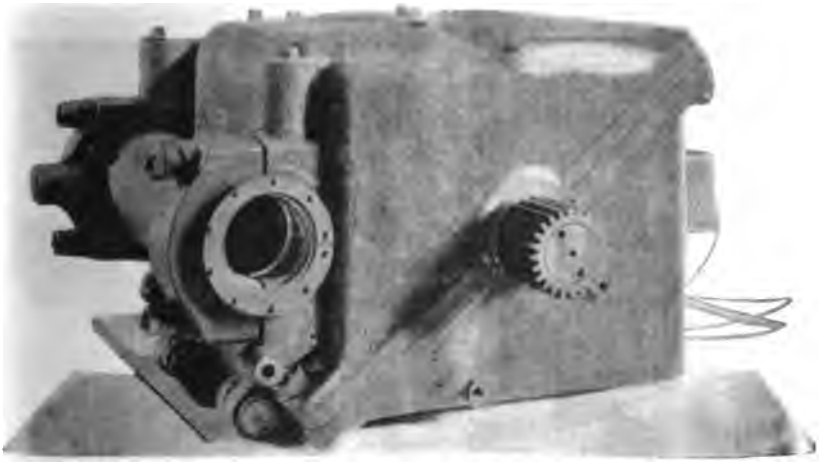


Fig. 196. — Moteur Siemens et Halske de la Société alsacienne, fermé.

de Constructions mécaniques, concessionnaire des brevets français, construit dans son usine de Belfort.

Le tableau suivant indique les principales données des deux moteurs qu'elle fournit pour tramways :

| NUMÉRO de vente. | PUISSANCE en chevaux [1] | NOMBRE DE TOURS par minute. | POIDS en kilogrammes. | COUPLE NORMAL en kilogrammètres. |
|---|---|---|---|---|
| B 14/30 | 15 | 500 | 850 | 22 |
| B 17/30 | 25 | 500 | 1 200 | 36 |

[1] Puissance mesurée à la vitesse de 13 kilomètres à l'heure avec roues de 0,80 m. Réduction de 1 : 5,5.

Au point de vue de leur construction, ces moteurs sont caractérisés par une carcasse inductrice en forme de caisse rectangulaire allongée (fig. 196), qui

Digitized by Google

peut s'ouvrir suivant une diagonale. Les pôles supérieur et inférieur sont des pôles conséquents, de façon à réduire au minimum la hauteur totale et permettre ainsi d'abaisser la voiture plus près du sol. Le moteur étant fort allongé dans le sens horizontal, le rapport de réduction des engrenages atteint ordinairement 1 : 5,5 ; mais il peut être modifié suivant le diamètre des roues.

Les bobines d'inducteur, très plates, sont enroulées sur des carcasses spéciales en papier mâché qui les isolent parfaitement de la masse (fig. 197 et 131).

Les induits dentés et les collecteurs sont construits suivant les méthodes américaines.

Le moteur est suspendu par le nez (p. 127) ; une *boîte excentrique* placée dans

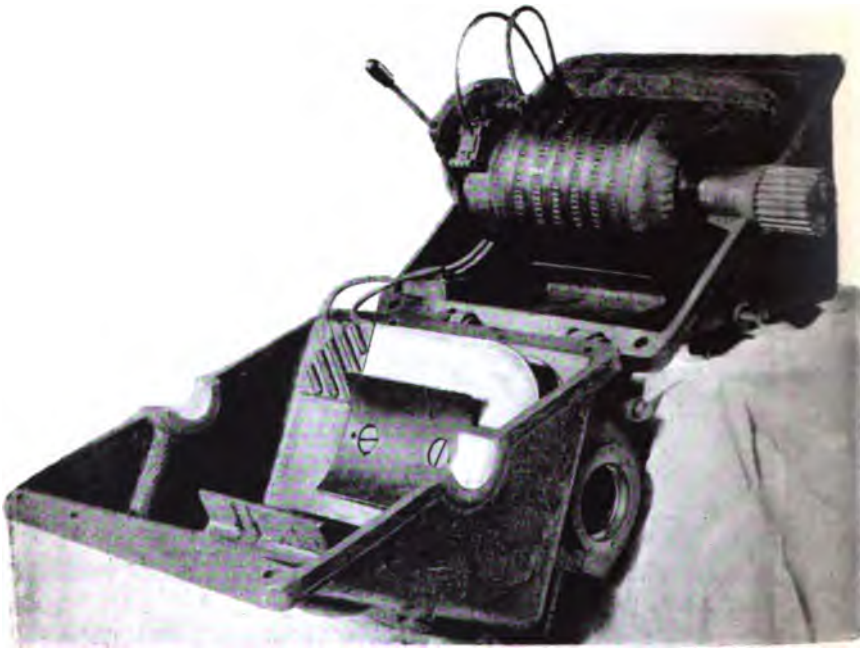


Fig. 197. — Moteur Siemens et Halske de la Société alsacienne, ouvert.

chacun des paliers de l'essieu et garnie de métal antifriction permet, lorsqu'on la fait tourner, de modifier la distance entre l'arbre moteur et l'essieu, et par suite le jeu entre le pignon et la roue d'engrenages. On peut, grâce à ce dispositif, réduire au minimum le ferraillement de la transmission après un certain temps d'usage.

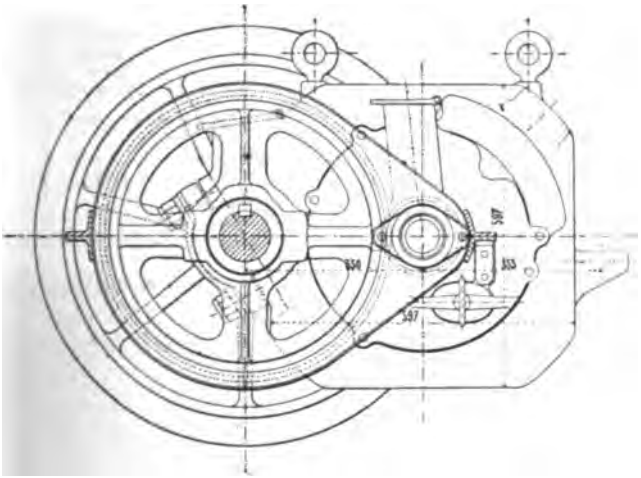
Le rendement mesuré sur l'arbre du moteur est de 86 à 87 p. 100, ce qui correspond à 80 p. 100 environ à la jante des roues.

Ces moteurs sont en service sur les diverses lignes établies en France par la Société alsacienne, notamment à Fontainebleau, Le Puy, etc.

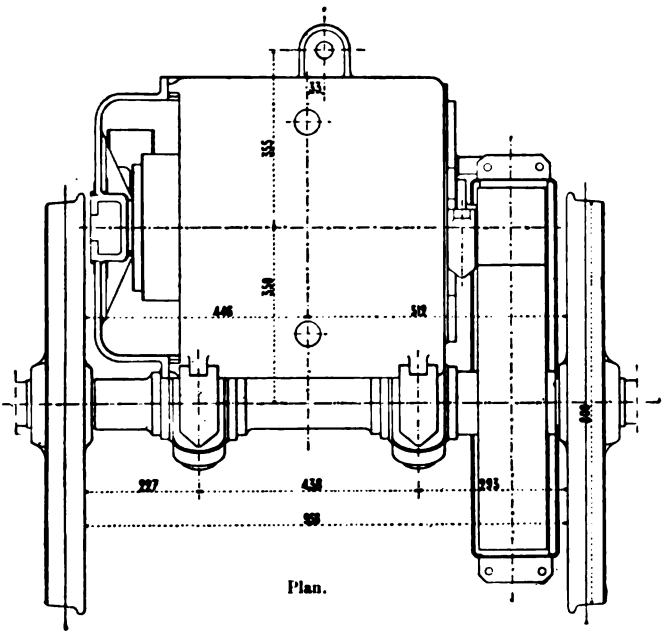
La Société Siemens et Halske a établi d'autres moteurs plus puissants pour locomotives ; elle a adapté aussi aux automobiles du métropolitain de Budapest des moteurs « gearless » de 50 chev. présentant la même forme que les précédents.

Digitized by Google

**Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft et Cie de Fives-Lille.** — Ces deux compagnies, qui construisent le même matériel, exploitent les brevets euro-



Elévation latérale.



Plan.

Fig. 198. — Moteur Sprague de Fives-Lille. — Plan et élévation.

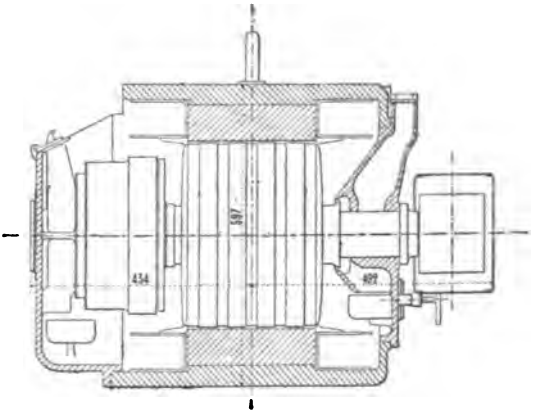
péens de Sprague pour les moteurs et les régulateurs. Les moteurs de la compagnie de Fives-Lille sont exécutés dans son usine de Givors (Rhône).

Digitized by Google

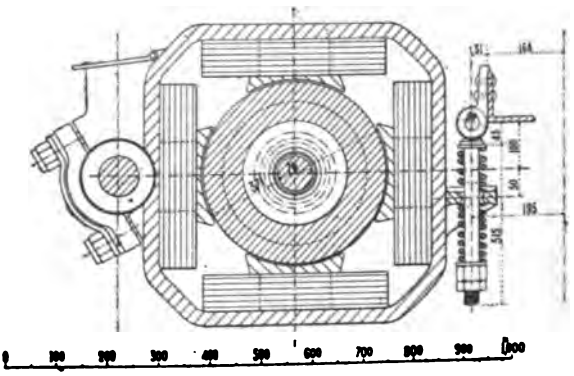
Le tableau suivant indique les données de fonctionnement des principaux types, à 500 volts :

| TYPE | PUISSANCE à la jante des roues en régime normal. | COURANT correspondant. | VITESSE en tours par minute. | POIDS en kilog. sans les engrenages. | COUPLE normal en kilogrammètres. |
|---|---|---|---|---|---|
| N. B. 80. . | 9 | 16 | 500 | | 13 |
| V. N. B. 125 | 13,5 | 25 | 405 | 900 | 24 |
| D. B. 125. | 21 | 40 | 564 | | 27 |

On remarquera que les chiffres de puissance correspondent à un régime



Coupe longitudinale.



Coupe transversale.

Fig. 199. — Moteur Sprague de Fives-Lille. — Coupes.

*permanent* et à de faibles vitesses de rotation, proportionnées aux conditions d'exploitation européennes. Ils peuvent être forcés momentanément.

Digitized by Google

Les figures 198 et 199 indiquent le mode de construction et les dimensions principales du moteur V.N.B. 125, qui est le type courant pour tramways.

La carcasse inductrice en acier doux a la forme d'un cube, fermé sur deux de ses faces verticales par des flasques boulonnées portant les paliers de l'arbre de l'induit. Elle est munie intérieurement de quatre portées peu saillantes sur lesquelles sont vissés autant de pôles rapportés portant chacun une bobine inductrice retenue par quatre ergots.

Par suite du mode de régulation adopté (méthode Sprague), chaque bobine est divisée en trois sections, et les quatre sections de même rang des diverses bobines sont réunies en série, de façon à former trois circuits distincts.

L'induit est bobiné en anneau Gramme avec fourches de connexion en

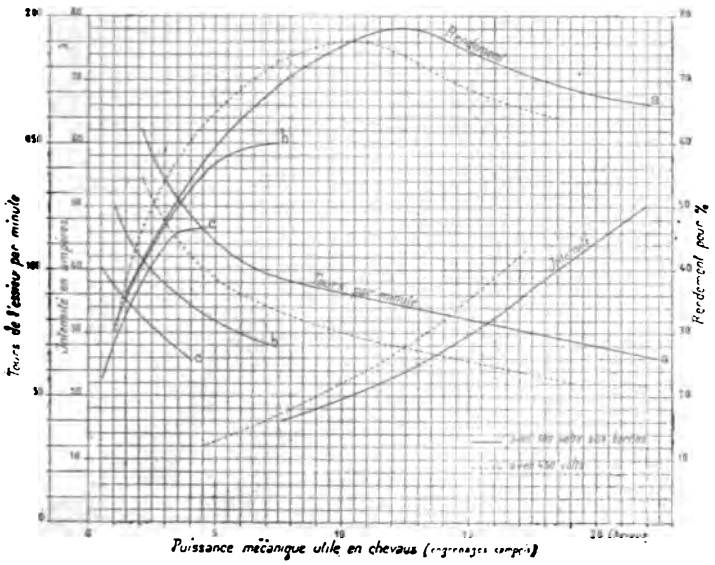



Fig. 200. — Courbes de fonctionnement du moteur de Fives-Lille, V. N. B. 125, avec coefficient de réduction de 1/5.

cuivre rouge entre les sections opposées ; le noyau en tôles de 5/10 porte 67 rainures garnies de micanite ; les fils de jonction sont disposés et frettés sur un disque recouvert d'une couche de 3 millimètres de micanite. Le collecteur est formé de 134 barres en alliage spécial.

Les engrenages, logés dans une boîte à huile en tôle rivée, sont à chevrons.

Le démontage se fait en dévissant et enlevant les deux plateaux portant les paliers de l'induit ; on peut alors retirer l'induit et dévisser les pièces polaires.

Le rapport de réduction est de 1/5.

Les courbes de la figure 200 représentent les conditions de fonctionnement du moteur V. N. B. 125.

Les résultats correspondant à la position VIII de l'appareil Sprague sont résumés dans le tableau suivant :

Digitized by Google

MOTEUR V.N.B. 125.

| COURANT en ampères. | VITESSE en tours par minute. | PUISSANCE à la jante en chevaux. | RENDEMENT p. 100. |
|---|---|---|---|
| 45 | 334 | 22 | 72 |
| 40 | 346 | 20 | 73,5 |
| 35 | 361 | 18 | 76 |
| 30 | 381 | 15,8 | 77,5 |
| 25 | 413 | 13,2 | 78 |
| 20 | 452 | 10,5 | 77 |
| 15 | 518 | 7,4 | 73 |
| 13 | 570 | 6,2 | 68 |
| On trouve de même pour le moteur D.B. 125. | | | |
| 56 | 502 | 27,5 | 72 |
| 50 | 522 | 25,1 | 74 |
| 45 | 541 | 23,2 | 76 |
| 40 | 564 | 21 | 77,3 |
| 36 | 593 | 19,1 | 78 |
| 30 | 651 | 15,8 | 77 |
| 25 | 722 | 12,5 | 73,6 |
| 21 | 812 | 10 | 70,1 |

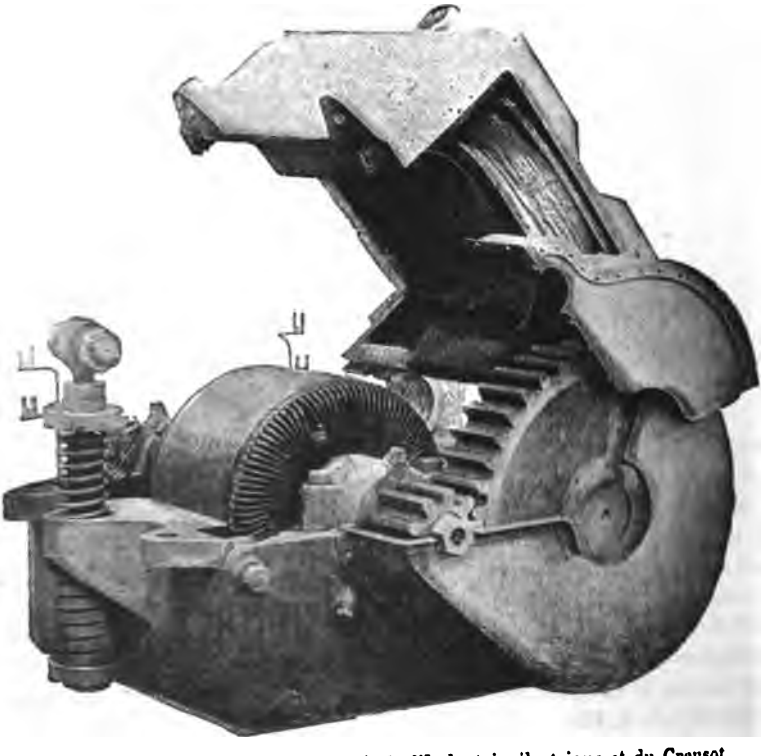


Fig. 201. — Moteur Thury de la Cie de l'Industrie électrique et du Creusot, ouvert.

Digitized by Google

**Compagnie de l'Industrie électrique et Usines du Creusot.** — La Compagnie de l'Industrie électrique de Genève, déjà connue en France par l'emploi de son matériel sur les vieilles lignes de Clermont-Ferrand et de Dijon, a abandonné

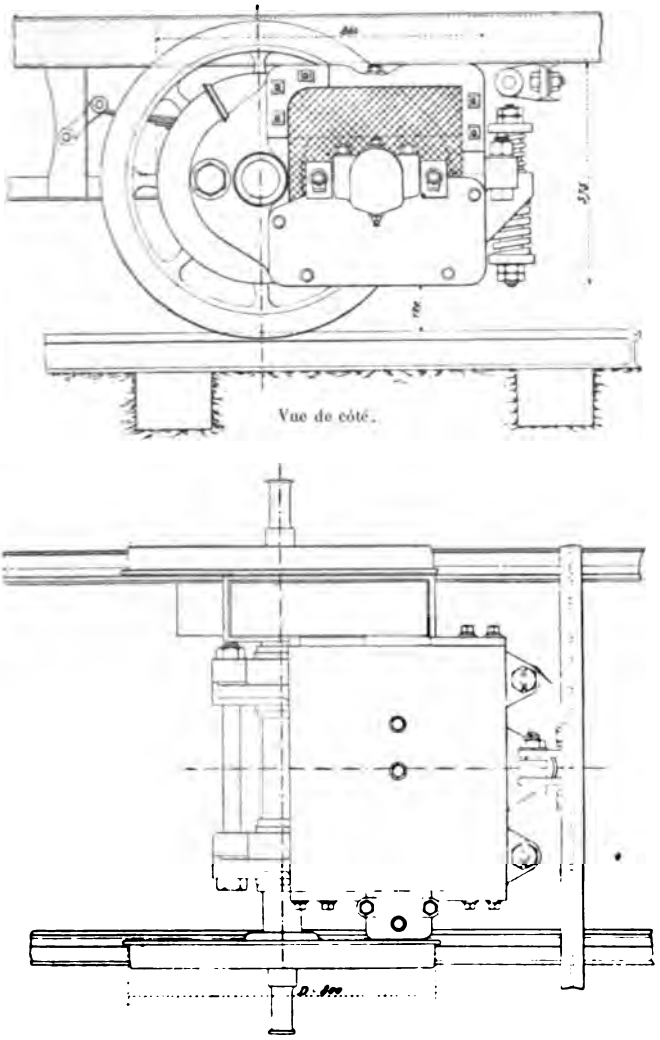



Fig. 202. — Moteur Thury. — Plan et élévation.

ultérieurement les moteurs à double réduction signalés plus haut (p. 144 et fig. 112) au profit d'un type d'équipement plus moderne, qu'exploitent en France MM. Schneider et Cie. Ce dernier, représenté sur la figure 201, est un moteur tétrapolaire à pôles conséquents, à cuirasse demi-fermée, sectionnée suivant le plan horizontal, et à pôles fortement excavés.

Digitized by Google

On le construit suivant les puissances de 15, 25 et 30 chevaux. Il est appliqué sur les réseaux de Genève, Lausanne, Grenoble, sur les lignes de Pierrefitte-Cauterets, Pierrefitte-Luz, etc. Le type de 15 chevaux, représenté sur les

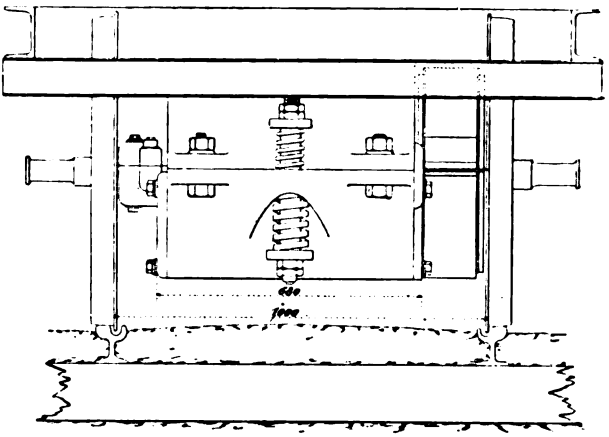


Fig. 202 *bis*. — Moteur Thury. — Vue en bout.

figures 202 et 202 *bis* donne 15 chevaux à 550 tours et 30 ampères, et peut en

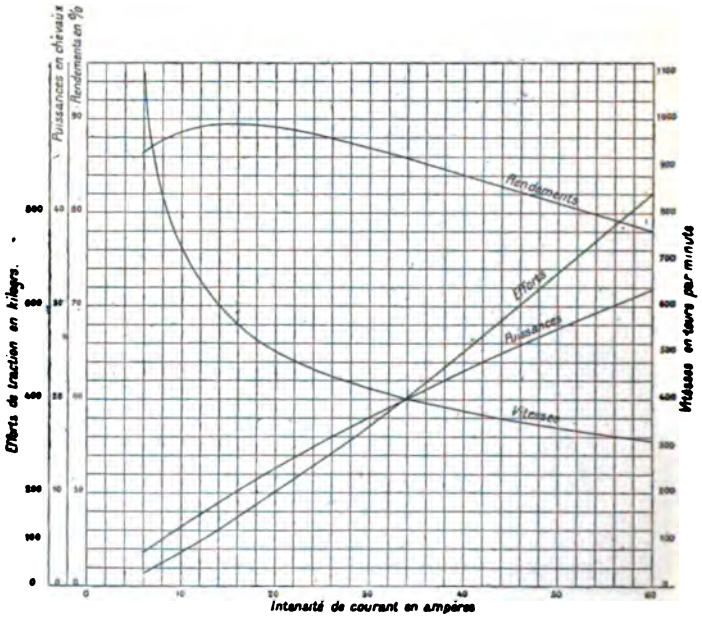



Fig. 203. — Courbes de fonctionnement du moteur Thury de 25 chevaux avec roues de 0,75 m. (non compris la perte par les engrenages).

fournir momentanément 30 à la vitesse réduite de 340 tours. Le rendement à la jante des roues est de 80 p. 100 à pleine charge, pour le moteur seul.

Digitized by Google

Le moteur normal de tramways, de 20-30 chevaux, qui pèse 900 kg., supporte en régime prolongé un courant de 45 amp. sous 500 volts; la vitesse correspondante est de 400 tours, la puissance de 25 chevaux et le rendement avec engrenages de 84 p. 100; avec des roues de 0,75 m., l'effort à la jante est de 585 kg.; le coefficient de réduction des engrenages est 1 : 4,5 et le couple atteint 49 kgm. La figure 203 donne les courbes de fonctionnement complètes.

**Autres moteurs construits en France.** — Quelques maisons ont construit en

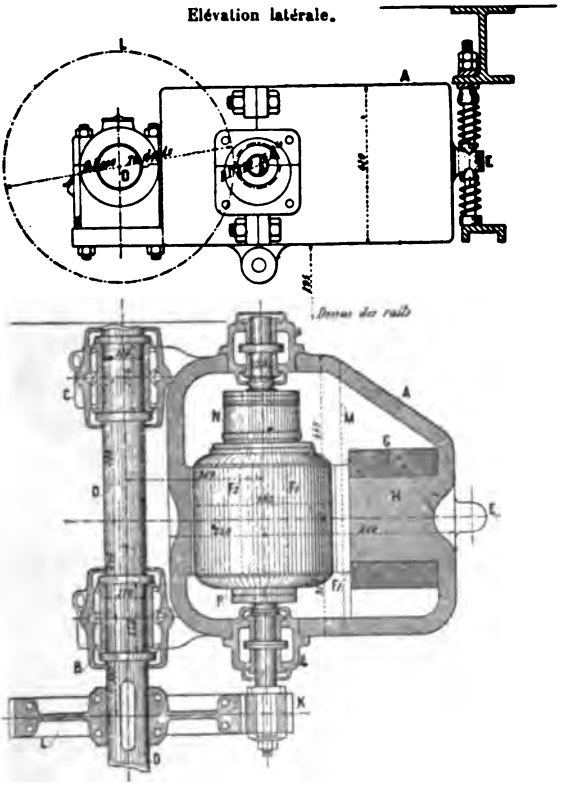



Fig. 204. — Moteur Hillairet-Huguet de la ligne Paris-Romainville.

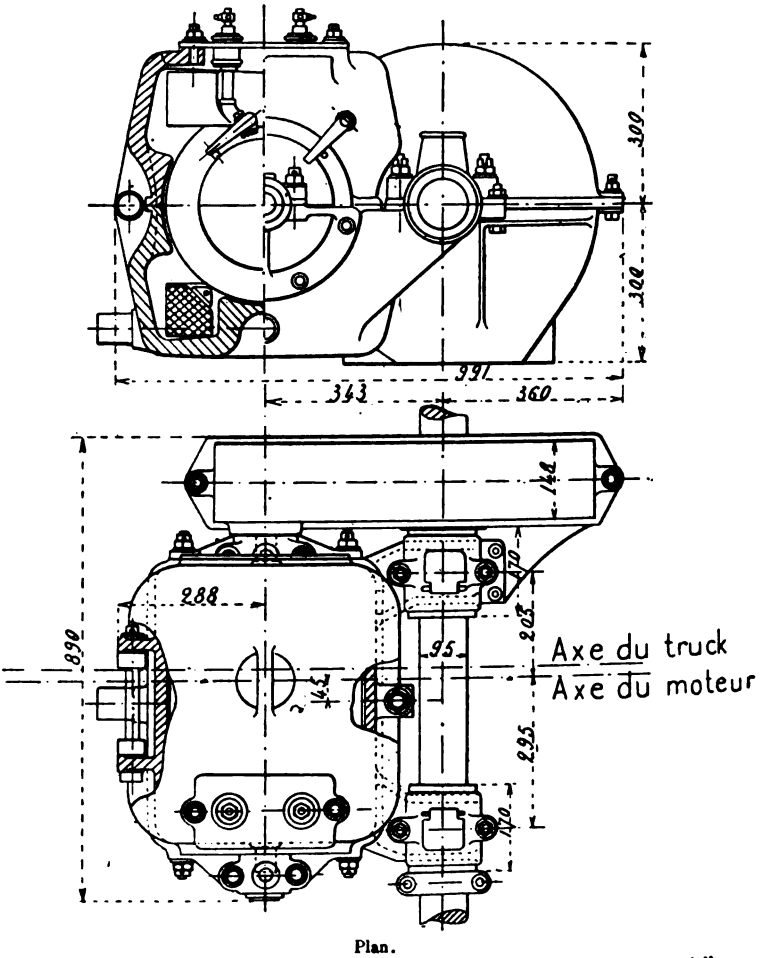
France, d'après leur propre inspiration, des moteurs de traction de types aujourd'hui démodés, en particulier pour la Compagnie des Tramways de Paris et du Département de la Seine. Comme exemples plus modernes d'une louable initiative personnelle, trop rare en France, on peut citer les appareils suivants : les moteurs de la maison *Averly*, de Lyon, employés sur les lignes de Paris-Saint-Denis, Nice-Cimiez et Lyon-Sainte-Foy; les moteurs du truck de Paris-Saint-Denis, dont on trouvera plus loin des dessins (p. 270), sont des moteurs Manchester de 12 chevaux à double réduction ;



Digitized by Google

le moteur de MM. *Hillairet et Huguet*, représenté par la figure 204 et appliqué sur les voitures du tramway de Paris à Romainville ; ce type d'appareil présente une curieuse carcasse inductrice en forme d'auge allongée, bipolaire, mais avec une seule bobine d'excitation ; cette disposition a été suggérée par la

Elévation latérale.




Plan.

Fig. 205. — Moteur de tramway pour voie de 1 m. de la Société industrielle des Moteurs à vapeur.

nécessité d'un jeu très considérable entre le moteur et les rails pour loger les frotteurs de prise de courant ; mais les critiques que nous avons adressées plus haut au système bipolaire et au mode d'assemblage de la carcasse inductrice suivant une section verticale trouvent ici leur application, et il semble qu'on eût pu arriver plus avantageusement au même résultat par l'emploi du type Siemens à quatre pôles (fig. 131, p. 169).

Digitized by Google

Les moteurs de la *Société industrielle des Moteurs électriques et à vapeur*, dont la figure 205 indique les principales données, présentent, comme on le voit, des dispositions peu différentes de celles du moteur G. E. 800. Le type utilisé actuellement sur plusieurs lignes de la Compagnie des Tramways de Paris et du Département de la Seine développe 15 chevaux en régime normal, et momentanément 22 à la vitesse de 400 tours ; il pèse 850 kg. Ce moteur est donc équivalent aux moteurs américains de 25 chevaux et il a l'avantage de s'adapter à la voie de 1 mètre. On verra au chapitre VII les moteurs construits pour les locomotives Heilmann par la même Société.

La maison *Sautter-Harlé* construit également des moteurs de traction de

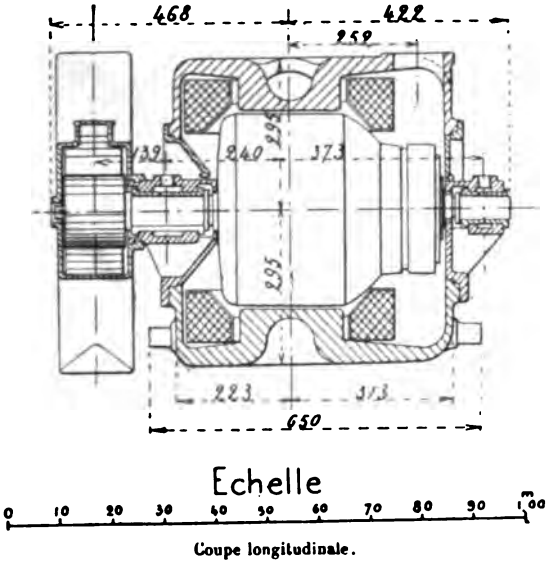



Fig. 205. — Moteur de la Société industrielle. — Coupe longitudinale.

toutes puissances ; c'est elle qui a exécuté les moteurs de 150 chevaux de la locomotive électrique du P.-L.-M. décrite plus loin (chap. VII) et le moteur de 700 chevaux du bateau sous-marin *le Zédé*.

Enfin la *Société d'Eclairage électrique* a établi récemment des moteurs de tramways analogues aux moteurs américains et de puissance équivalente.

**Ateliers d'Oerlikon.** — Les ateliers d'Oerlikon ont, dès l'origine, suivi de très près les progrès successifs réalisés en Amérique, et leur construction présente les mêmes caractères que la construction américaine. Après avoir essayé un moteur à vis sans fin (p. 112), ils ont adopté un type à engrenages analogue au moteur Westinghouse, d'abord ouvert sur les côtés (tramway de Marseille), puis complètement fermé. Les figures 206 et 207 représentent le type de 1894 (tramways de Zurich) ; la disposition, un peu compliquée, de la charnière est abandonnée dans le type 1896, où celle-ci est placée au-dessus de l'essieu et le plan de section de la cuirasse au-dessus des paliers ; le démontage de l'induit se fait encore facilement en enlevant les chapeaux.

Digitized by Google

Le moteur EZ 6, le plus anciennement employé, a un induit de 225 mm. de

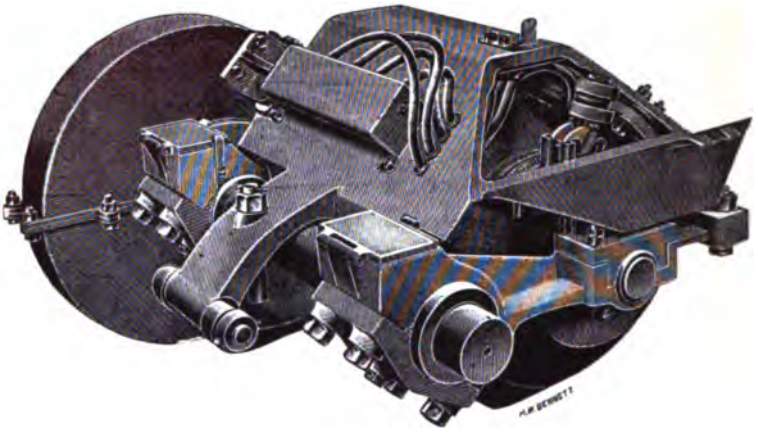


Fig. 206. — Moteur des ateliers d'Oerlikon (type 1894), fermé.

longueur, portant 16 × 59 fils, et des bobines inductrices de 960 spires pour

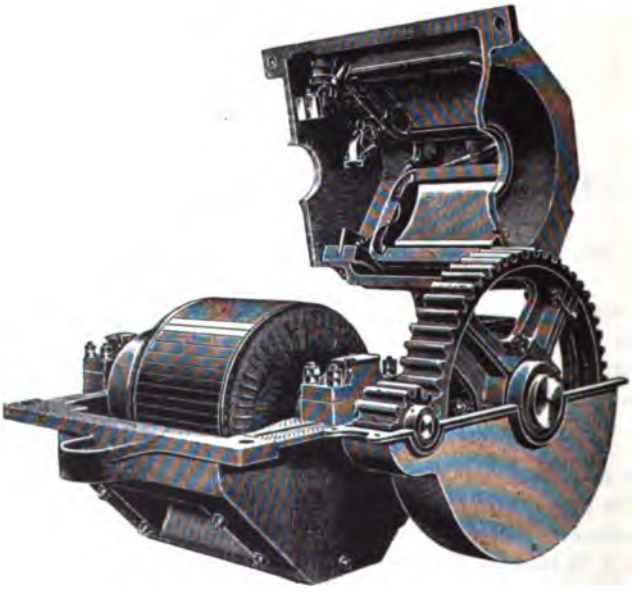


Fig. 207. — Moteur des ateliers d'Oerlikon, ouvert.

chacun des quatre pôles. La variation du courant en fonction de la vitesse, pour des roues de 0,80 m., est la suivante :

Digitized by Google

| Vitesse en km : h. | Courant. |
|---|---|
| 30 | 7 |
| 24 | 9 |
| 21 | 11 |
| 18 | 14 |
| 15 | 18,5 |
| 13 | 25 |
| 12 | 30 |

Le courant maximum qu'il peut supporter est de 82 ampères. Le rendement atteint 80 p. 100 à la jante des roues.

Les données principales de ces moteurs sont résumées dans le tableau suivant :

| MOTEURS D'OERLIKON, TYPE EZ | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|
| Puissance sur l'arbre en chevaux . . . . . | 14-18 | 18-25 | 30-40 |
| Rendement à pleine charge, sans engrenages. | 87 | 89 | 90 |
| Id. avec engrenages. | 80 | 82 | 84 |
| Ampères en pleine charge à 500 volts . . . . | 24-30 | 30-42 | 49-66 |
| Nombre de tours par minute à la charge normale minima. . . . . | 450 | 450 | 400 |
| Coefficient de réduction des engrenages. . . . | 1 : 4,5 | 1 : 4,5 | 1 : 4 15 |
| Effort à la jante des roues en kg. . . . . | 235-300 | 300-420 | 500-675 |
| Diamètre minimum des roues. . . . . | 750 | 750 | 800 |
| Empattement minimum. . . . . | 1 000 | 1 000 | 1 435 |
| Poids total avec engrenages, suspension et chaîne de sûreté, en kg. . . . . | 960 | 1 020 | 1 550 |
| Couple normal en kgm . . . . . | 20-25 | 25-35 | 48-65 |

**Société anonyme Schuckert et Cie et MM. Bouckaert et Cie.** — Une grande société allemande, celle de Schuckert, à Nuremberg, construit aussi de bons moteurs, qui ont été appliqués en France par la maison Bouckaert, de Bruxelles, et que définit le tableau suivant :

| NOM DU TYPE | PUISSANCE en chevaux. | VITESSE normale en tours par minute. | EFFORT de traction à la jante de roues de 0,80 m. en kilogrammes. | POIDS du moteur et de ses engrenages. |
|---|---|---|---|---|
| AB. 51 | 8-12 | 500 | 180 | 750 |
| AB. 52 | 10-15 | 500 | 225 | 980 |
| AB. 53 | 15-20 | 530 | 235 | 1 100 |
| AB. 55 | 15-20 | 650 | 250 | 850 |
| AB. 57 | 25-30 | » | » | » |
| AB. 59 | 35-40 | 800 | 360 | 1 430 |

Les premiers types, établis pour les tramways de Zwickau, Aix-la-Chapelle, etc.,

Digitized by Google

étaient imités du moteur Edison-Sprague : les nouveaux types, employés à Munich, Toulon, etc., sont analogues au type américain à quatre pôles symétriques. La figure 208 représente le type d'Aix-la-Chapelle, analogue à celui de la Cie de Fives-Lille.

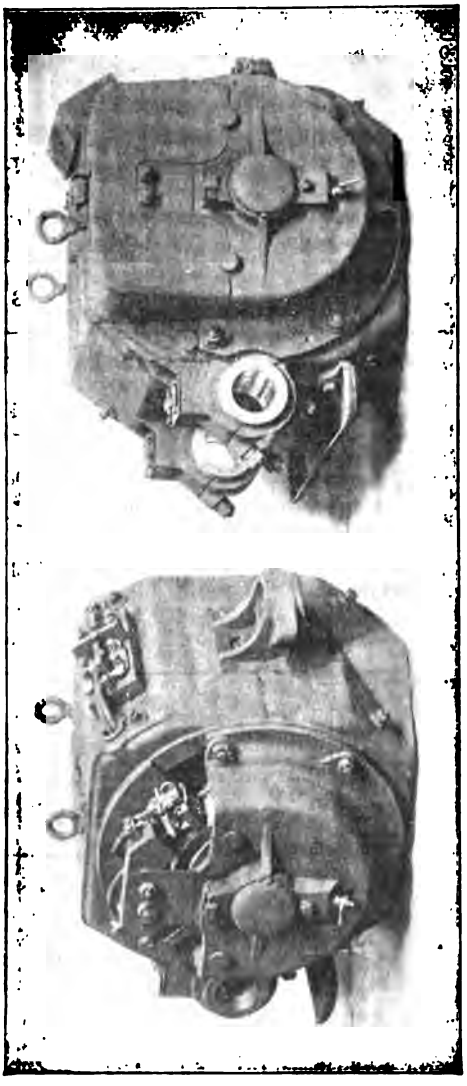


Fig. 208. — Moteur de la société Schuckert.

Leurs principales données de construction et de fonctionnement (non poussé) sont résumées dans le tableau ci-dessus, page 229.

L'armature est du type Gramme avec fourches de connexion.

Le moteur AB 55 est celui employé sur les voitures de Munich ; il peut supporter d'une manière prolongée 25 ampères.

**Société d'électricité Kummer et Cie, à Dresde.** — Le matériel Kummer présente un certain intérêt, parce qu'il constitue une des rares applications actuelles du type bipolaire.

Comme le montre la figure 209, cet appareil présente la même forme de circuit inducteur que l'ancien moteur Thomson-Houston S. R. G., (p. 171), mais il est muni d'une cuirasse en acier doux qui l'enferme complètement ; les bobines inductrices entourent l'armature d'après la méthode Eickemeyer et sont assez puissantes pour amener l'induction dans celle-ci jusqu'à la valeur de 23000 c.g.s. On remarquera que le collecteur est entouré d'une enveloppe cylindrique dont la moitié supérieure est indépendante de la cuirasse et peut être enlevée à volonté pour inspecter les balais et le collecteur.

Ces moteurs, établis par M. Fischinger, sont construits pour développer

Digitized by Google

8, 15, 20 ou 30 chevaux ; la figure 209 donne les dimensions principales

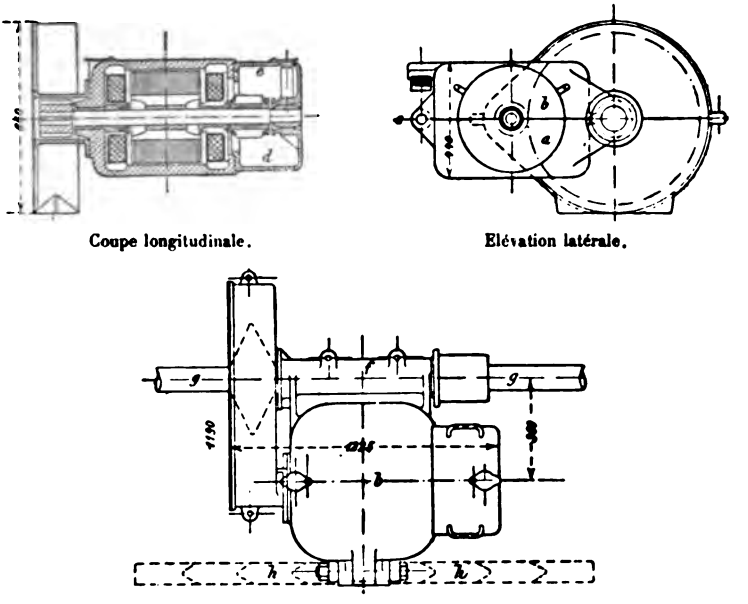



Fig. 209. — Moteur de la société Kummer.

du plus puissant, qui tourne aux vitesses très réduites de 320 à 400 tours ; la réduction est de 5 : 1.

**Ganz et Cie, à Buda pest.** — La maison hongroise Ganz et Cie construit un type de moteur analogue à celui d'Oerlikon et également bien étudié ; la carcasse à quatre pôles à 45°, s'ouvrant suivant un plan horizontal, présente seulement deux petites ouvertures au haut des faces latérales pour la ventilation. Le tableau suivant résume les principales données de ces moteurs :

| TYPE | T. 8 | T. 12 | T. 16 | T. 20 |
|---|---|---|---|---|
| Effort à la jante de roues de 0,75 m., à la vitesse de 75 km : h. en kg. . . . . | 200 | 350 | 450 | 600 |
| Nombre de tours par minute. . . . . | 500 | 475 | 450 | 400 |
| Coefficient de réduction . . . . . | 1 : 4,85 | 1 : 4,85 | 1 : 4,85 | 1 : 4,85 |
| Longueur totale en mètres. . . . . | 0,900 | 0,900 | 0,900 | 0,900 |
| Largeur — . . . . . | 0,700 | 0,900 | 0,950 | 1,200 |
| Hauteur — . . . . . | 0,625 | 0,625 | 0,625 | 0,625 |
| Largeur de voie minima . . . . . | 0,760 | 0,950 | 1 000 | 1,435 |
| Poids total en kg. . . . . | 765 | 900 | 1 035 | 1 165 |
| Couple en kilogrammètres. . . . . | 15 | 27 | 55 | 50 |

D'autres maisons allemandes ou autrichiennes, *Naglo*, *Egger*, *Krizic*, *Kolben*, etc., construisent également des moteurs de tramways.

Digitized by Google

*En Angleterre*, l'industrie des tramways électriques est encore trop peu développée pour avoir donné naissance à des types bien définis de moteurs.

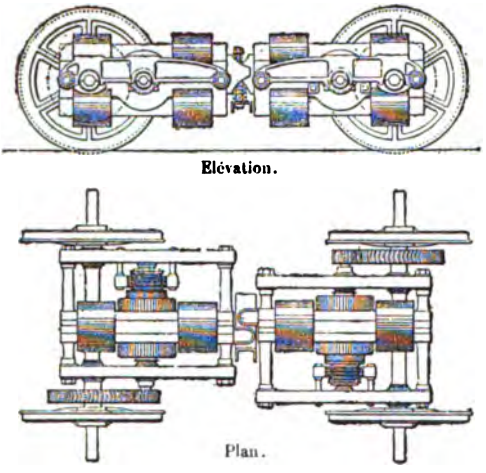



Fig. 210. — Moteur des tramways du South Staffordshire.

La maison *Thomas Parker*, de Wolverhampton, a équipé successivement les tramways de Bournebrook (1882), de Birmingham, du South Staffordshire (1892), et le Liverpool Overhead Railway (1890) dont les moteurs « gearless » ont été décrits plus haut (p. 150); les moteurs du South Staffordshire (fig. 210) sont analogues, mais attaquent l'essieu par un train d'engrenages; bien qu'ouverts, ces moteurs assurent un bon service depuis leur installation.

Nous donnons ici (fig. 211) les courbes de fonctionnement des moteurs du Liverpool Overhead Railway, dernier modèle (1896), pour permettre d'en comparer les résultats avec ceux des moteurs des métropolitains américains, décrits plus haut. On voit que l'effort à la jante

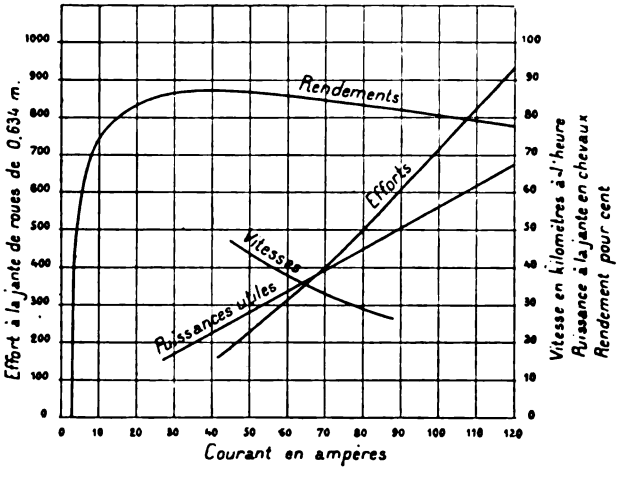



Fig. 211. — Courbes de fonctionnement des moteurs du Liverpool Overhead Railway.

des roues de 0,634 m. est de 910 kg. sous un courant de 120 ampères et de 308 kg. sous un courant de 60 ampères ; la vitesse normale, au courant de 50 ampères, est de 42 km : h., et le rendement atteint 86 p. 100 ; le poids

Digitized by Google

de l'induit est de 990 kg. et celui de l'inducteur et de ses attaches de 2 750 kg.

La maison *Mather and Platt*, de Manchester, a équipé avec des moteurs du même genre que les précédents le tramway de Douglas-Laxey et le petit chemin de fer du Mont Snaefell (2 et 4 moteurs de 25 chev. par voiture, avec réduction de 1 : 4).

Enfin la maison *Siemens Brothers*, de Londres, a construit en 1892 pour les tramways de Hobart (Tasmanie) des moteurs bipolaires de 12,5 chevaux tout à fait analogues, à un train d'engrenages près, à l'ancien moteur Sprague (p. 142). Ces deux derniers constructeurs ont établi en outre des locomotives que nous étudierons au chapitre VII.

Tous ces moteurs sont aujourd'hui démodés et ces maisons étudient de nouveaux types inspirés des moteurs américains.

**Remarque sur les comparaisons entre les divers moteurs.** — Il faut se garder d'établir sans discernement une comparaison entre les divers types de moteurs décrits ci-dessus. Il faut toujours, comme nous l'avons dit plus haut (p. 187), avoir soin de rapporter à une même vitesse les chiffres de puissance et de poids que l'on compare. Cette précaution est particulièrement nécessaire quand on veut établir un parallèle entre des moteurs américains et européens, car les premiers sont établis pour des vitesses bien supérieures à celles des seconds, et leur régime est ordinairement plus poussé. On peut admettre en général qu'en ramenant tout aux mêmes conditions, c'est-à-dire en comparant les *couples* obtenus avec un même échauffement[1], le type américain ordinaire de tramway dit de 25 chevaux est l'équivalent du moteur européen dit de 20 chevaux.

Si l'on tient compte de cette différence, la question de prix d'achat et la pratique comparative des divers matériels peuvent seules motiver aujourd'hui une préférence entre les bonnes marques américaines et européennes.

## § 4. — Moteurs de traction a courants alternatifs

Bien que la traction par moteurs alternatifs soit encore fort peu développée, puisqu'elle ne date que de l'installation du tramway de Lugano, ouvert en 1895, elle paraît appelée à prendre, au

[1] Cela revient, en définitive, à comparer, non pas les puissances, mais les puissances divisées par les vitesses.

Digitized by Google

moins dans des cas particuliers, un certain développement. Un examen rapide des moteurs à courants alternatifs en vue de cette application spéciale est donc opportun.

**Types applicables à la traction.** — Tout moteur de traction doit avant tout pouvoir démarrer avec un couple égal ou supérieur au couple normal. Les moteurs à *courants alternatifs simples* ne satisfont pas à cette condition et, par suite, ne sont pas utilisables directement; les moteurs *synchrones* monophasés et même polyphasés ne peuvent développer un couple que lorsqu'ils ont atteint une vitesse synchronique de celle des génératrices; les moteurs à *collecteur Gramme* ne peuvent être construits que pour des puissances très faibles, ne dépassant pas 4 à 5 chev.; enfin les moteurs *asynchrones* n'ont au démarrage qu'un couple tout à fait insuffisant.

Le seul type utilisable à l'heure actuelle est le moteur *polyphasé asynchrone*, ou à champ tournant.

Comme cette conclusion peut paraître un peu pessimiste à ceux qui ont observé les progrès réalisés dans ces dernières années par les moteurs à courants alternatifs dans l'industrie et constaté qu'ils remplacent souvent les moteurs à courant continu, nous l'appuierons d'un rapide examen des différents types de moteurs existants et des services qu'on peut en attendre.

Les moteurs alternatifs actuels peuvent, comme on le sait, être rangés en deux catégories, les moteurs monophasés et les moteurs polyphasés, suivant qu'ils exigent pour leur alimentation un seul courant alternatif, ou plusieurs courants de phases différentes.

Chacune des ces catégories comprend elle-même deux classes de moteurs, les uns synchrones, les autres asynchrones. C'est d'après cette dernière distinction que nous les séparerons dans ce qui suit.

*Moteurs synchrones simples et polyphasés.* — Les propriétés des moteurs synchrones étant les mêmes, qu'ils soient alimentés par un ou plusieurs courants, il est inutile de faire de distinction entre ces deux cas.

Les moteurs synchrones sont de simples alternateurs auxquels on applique la propriété de la réversibilité, commune à toutes les machines dynamo-électriques.

Mais le fonctionnement d'un alternateur comme moteur n'est possible que s'il tourne synchroniquement avec le courant qui l'alimente, c'est-à-dire si le nombre de tours de la partie mobile pendant l'unité de temps est égal au nombre de périodes du courant alternatif pendant ce temps, divisé par le nombre de pôles du moteur. Pour mettre celui-ci en marche, il faut donc d'abord l'amener à cette vitesse par l'application d'une force extérieure et ne

Digitized by Google

le mettre en relation avec le réseau d'alimentation qu'au moment du synchronisme. On peut ensuite supprimer la force extérieure sans que le moteur s'écarte de cette vitesse ; on dit alors qu'il est « accroché », et on peut le charger progressivement pour lui faire débiter du travail. Mais si l'on vient à le forcer à ralentir par l'application d'une charge trop brusque ou trop forte relativement à sa puissance, il se « décroche » et s'arrête complètement ; sa force électromotrice disparaissant par l'arrêt, le réseau se trouve mis en court circuit à travers le moteur, ce qui est un second inconvénient. On ne peut le remettre en fonctionnement qu'en l'amenant de nouveau préalablement au synchronisme.

On voit que la grosse difficulté de l'emploi de ces appareils sur une automobile électrique résulte de la fréquence des démarrages. Ceux-ci ne peuvent être réalisés qu'à l'aide d'artifices, dont nous allons examiner les principaux :

1° Un premier procédé consiste dans l'adjonction, sur l'induit du moteur, d'un second enroulement bobiné comme celui d'un moteur à courant continu ordinaire et muni d'un collecteur.

Au moment du démarrage, on envoie le ou les courants alternatifs du réseau dans cet enroulement et dans celui des inducteurs, qu'on met en série avec lui. Si l'on a soin de faire les noyaux d'inducteurs en tôles feuilletées, ils donneront lieu à un champ magnétique alternatif dont le sens changera en même temps que celui du courant qui traverse le moteur. Celui-ci peut donc se mettre en marche, grâce à la réaction de l'induit sur le champ magnétique, aussi bien qu'un moteur à courant continu ; aussitôt qu'il atteint une vitesse voisine de celle du synchronisme, on relie les bornes de l'enroulement alternatif de l'induit au réseau et on ferme l'enroulement à courant continu sur les inducteurs, auxquels il donne l'excitation suffisante. Ce procédé de couplage des inducteurs en série avec l'induit, qui n'est admissible en marche prolongée que pour les très petits moteurs, tels que ceux que construit la maison Ganz, de Budapest, donnerait pour des moteurs de tramways d'abondantes étincelles qui détérioreraient rapidement le collecteur. Mais si l'on n'y recourt qu'au moment du démarrage, l'inconvénient est beaucoup moindre ; aussi cette méthode est-elle employée avec un certain succès pour le démarrage des moteurs industriels fixes par quelques constructeurs, notamment par la Compagnie de Fort-Wayne (États-Unis), dont les moteurs peuvent démarrer sous la charge normale, avec une majoration de courant de 50 p. 100. On pourrait en essayer l'application sur les tramways, mais on doit redouter les complications d'entretien du collecteur et l'insuffisance du couple de démarrage, qui ne peut atteindre des valeurs aussi élevées qu'avec les moteurs à courant continu ou les moteurs polyphasés asynchrones.

2° Une seconde méthode de mise en marche, appliquée aux moteurs synchrones industriels par de nombreux constructeurs, revient à leur donner momentanément un fonctionnement asynchrone ; dans ce but, on place dans les pièces polaires un enroulement en barres de cuivre fermé sur un rhéostat et qui joue le même rôle que les circuits secondaires d'un moteur asynchrone ; les courants induits dans ces barres de cuivre, sous l'influence des courants qui alimentent l'armature, lorsqu'on peut leur faire produire un champ tournant, produisent un couple suffisant pour la faire démarrer à vide ; on n'excite les inducteurs qu'une fois la vitesse de synchronisme atteinte. Mais

Digitized by Google

un semblable démarrage est imparfait, parce qu'un moteur synchrone ne peut donner une marche stable qu'à condition d'avoir un grand entrefer, lequel rend presque illusoire le fonctionnement en asynchrone ; on ne peut donc pas faire démarrer le moteur sous charge, mais seulement à vide.

3° Les deux procédés que nous venons d'examiner ne permettent pas de laisser les moteurs reliés invariablement aux essieux, puisqu'il faut les décharger au moment du démarrage. Il serait plus naturel, dans ces conditions, de mettre le moteur en marche à vide une fois pour toutes et de le laisser tourner constamment, en se réservant la possibilité d'embrayer les essieux à volonté au moyen d'une transmission convenable. Cette solution exigerait seulement l'emploi d'un volant considérable et d'un système d'embrayages parfaitement modérables, tels que les embrayages de Bovet. Au moment du démarrage, on utiliserait la force vive du volant et de l'induit tournant à vide pour produire par un entraînement par frottement très progressif la mise en marche de la voiture sans ralentir l'induit.

Mais il faudrait modifier complètement les dispositions actuelles des automobiles électriques, loger le volant sous les banquettes comme sur les tramways à gaz, ajouter des engrenages à réduction variable pour permettre les modifications de vitesse de la voiture sans changement de celle du moteur et un dispositif de changement de marche pour permettre la marche en arrière, toutes dispositions bien compliquées, bien délicates et bien encombrantes pour une voiture de tramway.

Une solution analogue a, du reste, été déjà essayée à plusieurs reprises pour permettre l'emploi de moteurs à courant continu excités en dérivation tournant à vitesse constante ; mais aucune de ces tentatives n'a eu de succès pratique et rien ne permet de croire à la possibilité d'un meilleur résultat pour les moteurs synchrones à courant alternatif.

Il pourrait en être autrement sur les locomotives de chemins de fer, où l'on dispose de la place nécessaire pour loger des volants et des transmissions, et pour les locomotives de mines, lorsqu'on n'est pas limité à de trop faibles dimensions. Dans ces deux cas les démarrages sont moins fréquents. L'emploi des moteurs synchrones pourrait donc être à la rigueur acceptable, en admettant qu'on obtienne des mécaniciens l'attention et le tour de main nécessaires pour ne pas les bloquer au moment de l'embrayage.

4° A défaut de ces procédés, il en est un autre auquel on pourrait recourir, si l'on ne le trouve pas trop compliqué, et qui permettrait de réaliser un excellent démarrage.

Il consisterait dans l'emploi de moteurs à induits mixtes, construits comme ceux des dynamos « commutatrices », c'est-à-dire avec un seul enroulement relié d'un côté à des bagues de prise de courants alternatifs, et, de l'autre, à un collecteur à courant continu. Ces moteurs seraient alimentés en marche normale directement par les courants du réseau, et, lors du démarrage ou de la marche à vitesse réduite, par du courant continu obtenu par transformation du courant alternatif.

Cette transformation serait faite par une commutatrice, disposée sur une des plates-formes de la voiture et tournant constamment ; cette machine recevrait d'un côté le courant de la ligne et débiterait de l'autre du courant continu ; elle n'aurait besoin d'avoir qu'une puissance assez réduite, puisqu'elle ne

Digitized by Google

fournirait du courant que d'une manière intermittente, et pourrait en conséquence supporter pendant de courts instants de fortes surcharges.

Si l'on acceptait l'emploi d'accumulateurs sur la voiture, on pourrait réaliser un système de traction mixte assez commode, en employant les moteurs eux-mêmes comme commutatrices pour la charge de la batterie en marche ; mais il faudrait leur donner une puissance un peu plus grande.

Ces méthodes ne seraient du reste applicables qu'à la condition d'employer des voltages assez bas ou des fréquences assez faibles pour réaliser un nombre de barres aux collecteurs suffisant en comparaison du voltage aux balais.

Dans tous les cas, l'emploi des moteurs synchrones est accompagné de complications et de sujétions telles qu'on ne peut en considérer l'emploi comme pratique en dehors de cas exceptionnels ; on va voir qu'il en est de même des moteurs à courant alternatif simple asynchrones.

*Moteurs asynchrones.* — Les moteurs asynchrones sont ainsi appelés parce qu'ils ne tournent point à la vitesse du synchronisme, mais à une vitesse légèrement inférieure ; la différence entre ces vitesses croît avec la charge jusqu'à une valeur qui ne dépasse pas 5 à 6 p. 100 de la vitesse du synchronisme ; cette fraction est ce qu'on appelle le *glissement*. Si l'on n'introduit pas de résistances supplémentaires dans l'enroulement d'induit, les moteurs asynchrones présentent des propriétés analogues à celles des moteurs synchrones : on ne peut les amener à leur vitesse normale qu'en les faisant tourner à vide, et encore à l'aide d'artifices pour les moteurs monophasés ; dès que la vitesse descend au-dessous d'une certaine limite, très voisine de la vitesse du synchronisme, par suite de l'application d'une charge trop brusque ou trop forte, ces moteurs s'arrêtent et mettent le réseau en court circuit.

Cet inconvénient ne peut être évité pour les moteurs monophasés. Au contraire, pour les moteurs polyphasés, il suffit d'introduire dans l'induit des résistances supplémentaires convenablement choisies pour modifier la vitesse à volonté, et pouvoir réaliser le couple moteur maximum à toute allure et même au démarrage.

On a essayé de donner aux moteurs à courant alternatif simple des propriétés analogues à celles des moteurs polyphasés. Le seul de ces essais qui ait donné des résultats appréciables est celui de M. Langdon-Davies [1], qui a fait connaître récemment un moteur fort ingénieux dans lequel le courant monophasé donne lieu à deux composantes décalées d'un certain angle et produisant, grâce à une disposition convenable des enroulements, un véritable champ tournant. Mais, malgré ses premiers succès, ce système n'a encore pu réaliser qu'un couple de démarrage relativement très faible et suffisant seulement pour un démarrage à vide.

D'autres inventeurs avaient obtenu déjà des résultats analogues en combinant des moteurs asynchrones avec des transformateurs alimentés par un courant alternatif ; les solutions qu'ils ont proposées reviennent toutes à dédoubler le courant alternatif fourni par le réseau en deux courants diphasés ou en trois courants triphasés qu'on emploie ensuite dans un moteur construit comme un moteur polyphasé.

[1] *Engineering*, 1896 ; *The Electrician*, 1896.

Digitized by Google

Tels sont par exemple les dispositifs de Tesla, de Bradley et de Korda.

Ces méthodes permettent bien de mettre en marche un moteur à vide, puis de le relier directement au réseau lorsqu'il a atteint la vitesse de marche, de sorte qu'il peut ensuite fonctionner sous des charges croissantes; mais elles ne sont pas suffisantes pour donner un bon démarrage sous charge.

On a cherché également à utiliser le courant alternatif simple par une combinaison de moteurs à courant alternatif et de convertisseurs tournants.

M. W. Leonard par exemple a imaginé [1] de placer sur chaque voiture un moteur de ce genre actionnant une dynamo à courants continus dont on utiliserait le courant pour actionner des moteurs ordinaires ; mais il suffit d'énoncer cette solution pour voir qu'elle est irréalisable sur une automobile ordinaire à cause de la complication, de l'encombrement et du poids mort énorme qu'elle suppose et des frais considérables que nécessiterait un semblable matériel. Il en est de même des procédés proposés par divers auteurs pour convertir sur les voitures un courant alternatif simple en courants polyphasés.

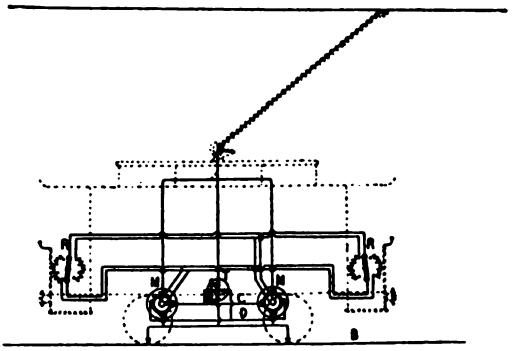



Fig. 212. — Dispositif pour la traction par courants alternatifs de MM. Ferraris et Arno.

Le plus ingénieux de ces derniers, imaginé en 1896 par MM. Ferraris et Arno [2], consiste à placer sur chaque voiture un convertisseur de phase [3] T (fig. 212) recevant du trôlet un courant alternatif simple et le transformant en un autre courant alternatif retardant d'un quart de période sur le premier; ce second courant sert à alimenter par les conducteurs C, C, concurremment au courant de la ligne qui arrive par le trôlet, les moteurs de la voiture M,M, qui sont des moteurs diphasés. Le retour du courant de la ligne se fait par les rails B. Pour faciliter le démarrage, comme on le verra au chapitre de la *Régulation de vitesse* (chap. X), les circuits induits des moteurs M peuvent être fermés sur des rhéostats R.

Au lieu d'un convertisseur asynchrone, rien n'empêche d'employer un appareil synchrone donnant le même résultat, et présentant en outre, au point de vue de la distribution, tous les avantages des commutatrices synchrones [4] ; un semblable convertisseur alimenté par des courants monophasés peut débiter

[1] *Am. Inst. of Elect. Eng.*, 1894.

[2] *Electrical World*, 1896, t. XXVIII, n° 12, et *Eclairage Electrique*, 1896.

[3] Le principe de ces convertisseurs *asynchrones* a été indiqué pour la première fois par M. Potier en 1894.

[4] Le principe d'un appareil répondant à ce programme a été indiqué par l'un des auteurs en 1894 ; il a été construit et breveté par la maison Sautter, Harlé et Cie.

Un dispositif différent permet à la Cie Ganz de charger des accumulateurs au moyen d'un courant alternatif.

Digitized by Google

non seulement des courants polyphasés, mais aussi des courants continus et permettre, par conséquent, l'emploi de moteurs ordinaires donnant toutes facilités pour le démarrage et la régulation de vitesse.

Ce dispositif est plus simple que celui de W. Leonard, en ce qu'il exige une seule machine de puissance égale à celle d'un moteur, tandis que le premier demanderait deux machines, chacune de puissance double. Cependant, il est facile de voir que cette intéressante méthode n'est pas mieux applicable à une exploitation courante de tramways que celle de Ferraris et Arno.

Pour que la conversion de courant sur laquelle elles reposent l'une et l'autre puisse se faire sans trop d'encombrement, il faut l'exécuter dans des sous-stations fixes le long de la ligne et alimenter les voitures par des courants déjà transformés : cette méthode trouvera sa place plus loin dans l'étude des Distributions de courant.

Par contre, sur une ligne de chemin de fer exploitée par locomotives, on peut, en renonçant à placer sur celles-ci des voyageurs ou des bagages, trouver toute la place nécessaire pour loger une commutatrice; le nombre de ces appareils sera limité comme celui des locomotives. Les méthodes précédentes deviennent alors acceptables et pourront rendre des services.

Hormis ce cas spécial, on voit que ni les moteurs synchrones, ni les moteurs à courants alternatifs simples ne peuvent encore donner une solution réellement pratique et générale de la traction par courants alternatifs.

En attendant que de nouvelles inventions viennent modifier cette conclusion, il est donc nécessaire de recourir aux moteurs *à courants polyphasés asynchrones* ou à champ tournant.

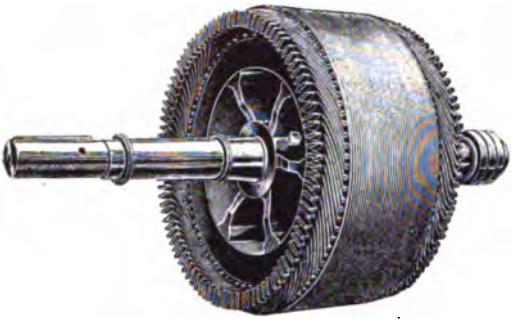
**Construction des moteurs polyphasés.** — On construit aujourd'hui ces moteurs indifféremment pour courants diphasés ou triphasés; ces deux solutions, assez différentes, comme on le verra, au point de vue de la distribution des courants dans les lignes de transmission, sont équivalentes pratiquement en ce qui concerne les moteurs.

Ceux-ci sont formés de deux parties cylindriques concentriques A et B (fig. 213) en tôles feuilletées, la partie extérieure fixe, l'intérieure mobile, laissant entre elles un entrefer aussi faible que possible (en pratique 0,8 à 1,5 mm.). Ce faible jeu exige une construction très précise, des paliers bien ajustés et l'emploi de coussinets assez durs pour réduire l'usure. Le long de l'entrefer, les deux cylindres portent des dentures ou perforations parallèles à l'axe, où sont logés des enroulements en fils ou barres isolées.

L'enroulement de l'un des cylindres joue le rôle d'inducteur

Digitized by Google

ou *primaire;* les courants qui l'alimentent sont pris au réseau de distribution et produisent dans l'entrefer un certain nombre de flux magnétiques tournants; l'enroulement du second cylindre, composé de circuits fermés sur eux-mêmes avec ou sans interposition de résistances, joue le rôle d'induit ou de *secondaire*.



B. — Induit.

A. — Inducteur, sans les flasques portant les paliers.

Fig. 213. — Exemple de construction d'un moteur diphasé à inducteur fixe, à 6 pôles, bobiné en fils, et à induit mobile, bobiné en barres.

Ce sont les courants induits dans l'enroulement secondaire par les flux tournants qui, en réagissant sur ceux-ci, produisent le couple moteur et le déplacement relatif de l'induit par rapport à l'inducteur.

Le nombre des flux tournants d'un moteur polyphasé, qui est réglé par le mode de bobinage, détermine, en fonction de la périodicité des courants, la vitesse de rotation du moteur à vide, et par suite la vitesse en charge, qui diffère très peu de la précédente. Si on appelle $2p$ le nombre de pôles de l'enroulement inducteur, N la *fréquence*, c'est-à-dire le nombre de périodes complètes par seconde des courants alternatifs employés, la vitesse angulaire à vide, exprimée en tours par minute, a pour valeur

$$n = \frac{60\ N}{p}$$

Digitized by Google

La fréquence est ordinairement comprise entre 40 et 60 périodes complètes, tandis que la vitesse d'un moteur de tramway européen est de 400 à 600 tours par minute; on en déduit que le nombre de pôles doit être compris entre 8 et 16; il est à recommander, pour réduire les fuites magnétiques, de ne pas dépasser 10 à 12. On pourrait du reste, comme on le verra plus loin, réduire ce nombre de pôles en abaissant la *fréquence* des courants alternatifs.

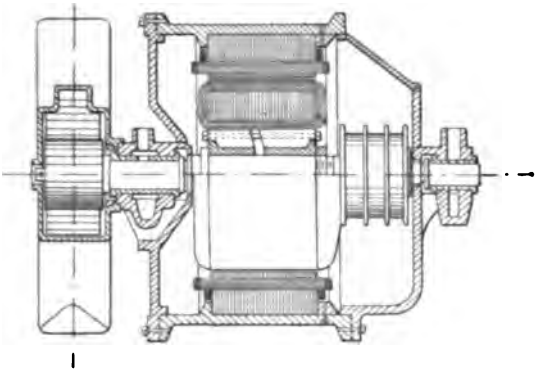


Fig. 214. — Exemple d'un moteur polyphasé pour la traction électrique. Enroulements en fils sur les deux cylindres. — Coupe longitudinale.

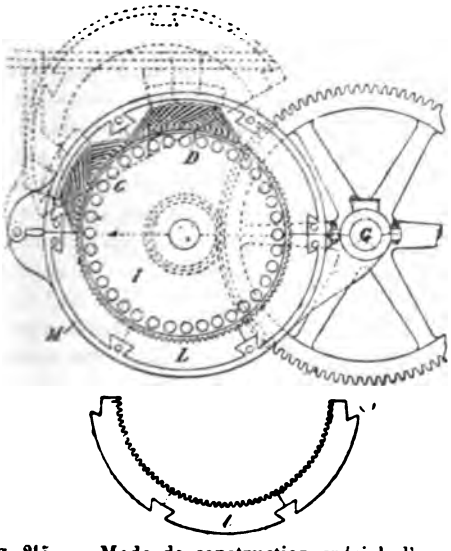



Fig. 215. — Mode de construction spécial d'un moteur polyphasé de traction, pouvant s'ouvrir suivant une section horizontale. Enroulements en fils sur le cylindre extérieur, en barres sur l'intérieur.

La constitution des moteurs à champ tournant se prête moins bien que celle des moteurs à courant continu à la réalisation des conditions d'ordre mécanique citées précédemment (p. 153). Pour leur donner la solidité nécessaire, il faut loger le cylindre extérieur fixe dans une enveloppe en fonte ou en tôle épaisse portant les paliers de l'arbre et de l'essieu (fig. 214); l'enveloppe doit s'ouvrir pour la visite du moteur, soit sur les côtés, soit suivant un plan diamétral. Dans le second cas, le noyau en tôles du cylindre extérieur ne peut rester



Digitized by Google

continu et doit, comme le montre la figure 215, être coupé en deux moitiés L assemblées avec l'enveloppe M par des queues d'hironde.

**Modes de bobinage pour moteurs de traction.** — Les enroulements inducteurs et induits sont assez délicats au point de vue de l'exécution pratique. Les encoches dans lesquels ils sont logés présentent l'une des formes de la figure 216 ; elles doivent être de préférence à demi fermées (type D), au moins pour l'un des deux enroulements, dans le but d'augmenter le passage du flux sans trop favoriser les fuites magnétiques qui se produisent entre les fils et l'entrefer. Pour les moteurs industriels fixes, on accepte de bobiner les fils sur place et de les faire se croiser sur les bases du cylindre extérieur, qui sert alors d'inducteur. Mais ce mode d'exécution se prête mal aux réparations et compliquerait de ce chef l'exploitation d'un réseau de traction, au moins lorsqu'on utilisera ces moteurs en grand; on doit donc employer des méthodes plus pratiques, analogues à celles adoptées pour les induits de moteurs à courant continu, c'est-à-dire le bobinage en anneau à la main ou le bobinage en tambour genre Eickemeyer.

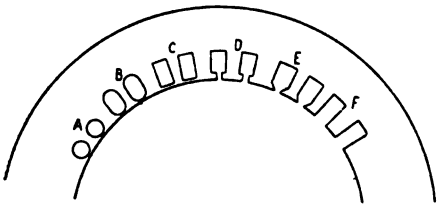


Fig. 216. — Différentes formes d'encoches employées pour loger les enroulements.

Ces bobinages peuvent être faits comme pour les moteurs à courants continus, soit en fils, soit en barres, suivant le nombre de spires nécessaires. La figure 214 montre par exemple la coupe d'un moteur à enroulements en fils pour les deux cylindres ; le cylindre extérieur est bobiné en bobines plates à emboîtement et le cylindre intérieur en anneau. La figure 215 montre, au contraire, un enroulement extérieur en fils, genre Eickemeyer, et un enroulement intérieur en barres rondes dont les connexions ne sont pas figurées.

Dans les moteurs polyphasés fixes, on admet souvent que les enroulements de l'induit soient en court circuit permanent. On peut alors leur donner une forme très simplifiée, dite « cage d'écureuil », en plaçant dans les encoches des barres massives en cuivre soudées à leurs deux extrémités à des cercles de cuivre ou réunies à une masse centrale par des développantes en cuivre ou en maillechort.

Mais, pour la traction, il est absolument nécessaire de pouvoir faire varier la résistance des circuits induits pour produire un bon démarrage et régler la vitesse, ce qui conduit à diviser l'enroulement, comme celui de l'inducteur, en deux ou trois circuits polyphasés aboutissant à des bagues de prise de courant qui les mettent en relation avec des rhéostats extérieurs (fig. 213).

Il n'y a donc pas en principe de différence entre les modes d'enroulements de l'induit et de l'inducteur pour un moteur de traction. Cela nous permettra dans ce paragraphe d'étudier les enroulements des deux cylindres sans nous préoccuper de leurs rôles respectifs.

*Cylindre extérieur.* — Les sections ou barres d'un enroulement *en anneau* (fig. 217, partie de droite) peuvent être bobinées isolément dans des rainures

Digitized by Google

fermées ou semi-fermées. Les tôles sont préalablement serrées entre des plateaux à l'aide de boulons ou de pièces spéciales disposées à la périphérie et formant cales entre les tôles et l'enveloppe de fonte.

Il est nécessaire de laisser entre ces deux parties un jeu suffisant pour loger

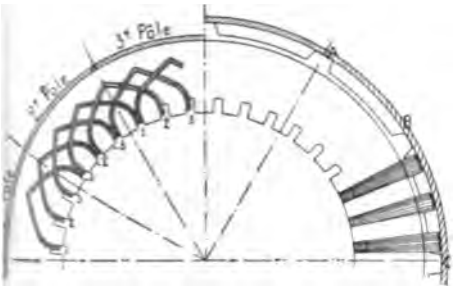



**Fig. 217.** — Enroulement de moteur triphasé. — A gauche, bobinage en tambour avec connexions en développantes; à droite, bobinage en anneau.

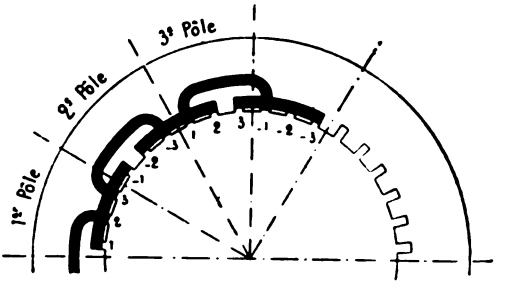



**Fig. 217 *bis*.** — Enroulement triphasé avec bobines à emboîtement; 12 pôles, 1 bobine par phase.

les fils et pour éviter que les flux magnétiques puissent se fermer par l'enveloppe; à ce point de vue il est nécessaire de n'interposer aucune substance magnétique. La meilleure disposition serait d'entourer tout le noyau d'une couronne de bronze de 3 à 4 centimètres de hauteur portant les évidements nécessaires pour loger les fils.

L'enroulement *en anneau* permet de couper en deux sans difficulté le

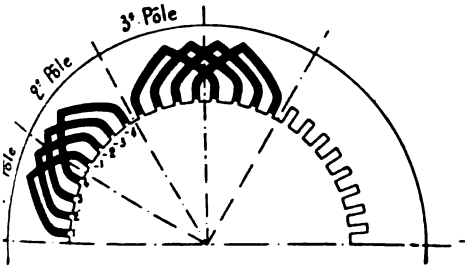



**Fig. 218.** — Enroulement d'un moteur diphasé. — Bobinage en développantes à champs séparés, 12 pôles, 2 bobines par phase.

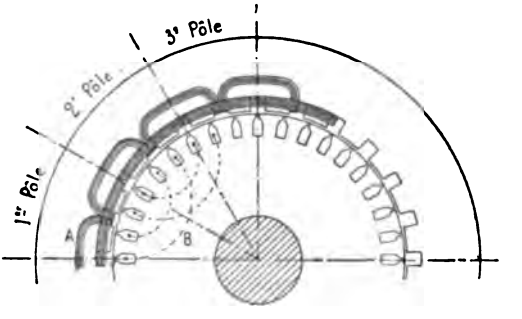



**Fig. 218 *bis*.** — Mode de construction d'un moteur diphasé. — Enroulement d'inducteur en bobines à emboîtement.

cylindre extérieur, à la seule condition de donner au moteur un nombre pair de pôles. Il est le plus simple; mais il augmente les fuites magnétiques par la périphérie extérieure et il exige un diamètre en général exagéré pour un moteur de traction à loger dans le truck.

L'enroulement *en tambour* est préférable à ces deux points de vue; il se prête à l'emploi de sections amovibles faites à la machine, si l'on adopte des

Digitized by Google

encoches ouvertes permettant l'introduction des fils (fig. 217, partie de gauche); on pourrait même, en plaçant deux sections dans la même encoche, comme le montre la figure 217, employer des encoches semi-fermées.

Lorsque l'enveloppe s'ouvre seulement en bout, on peut employer les bobinages symétriques des figures 217 et 218, analogues à celui d'Eickemeyer, avec

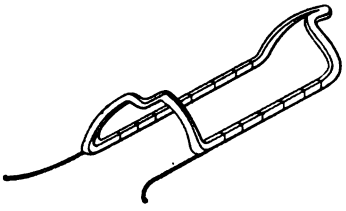


Fig. 219. — Bobine à développantes.

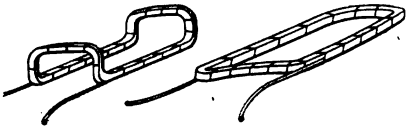


Fig. 220. — Bobines à emboîtement.

une ou deux sections par encoche ; chaque section faite sur forme (fig. 219) présente sur les bases du cylindre deux arcs de développante dans des plans différents, ce qui permet de les mettre en place successivement les unes sur les autres.

On peut aussi réaliser des enroulements dissymétriques à l'aide de deux séries de bobines de types différents (fig. 220), faites également sur forme : ce procédé permet de réaliser également bien des induits diphasés à deux encoches par pôle (fig. 217 *bis*) ou triphasés à trois encoches par pôle (fig. 218 *bis*)

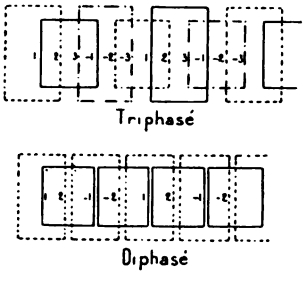



Fig. 221. — Schémas de la répartition des fils entre les bobines et les phases dans les enroulements des figures 217 *bis* et 218 *bis*.

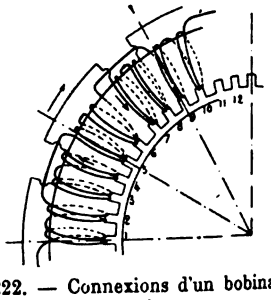


Fig. 222. — Connexions d'un bobinage en série pour enroulement en anneau diphasé, 12 pôles, 48 encoches, 2 bobines par phase.

(les schémas de la figure 221 indiquent clairement le mode de groupement des bobines) ; on peut l'étendre au cas de deux encoches par phase en employant quatre types de bobines au lieu de deux.

Dans le cas où l'on veut ouvrir le moteur suivant un plan horizontal, chaque champ doit être enroulé indépendamment de ses voisins, c'est-à-dire avec une seule section par encoche (fig. 218). L'enroulement en tambour exige que le nombre d'encoches par champ soit un multiple de 6 pour les moteurs triphasés et de 4 pour les moteurs diphasés, tandis que le bobinage en anneau peut se faire pour les moteurs triphasés avec un multiple de 3. Quand on

Digitized by Google

emploie un multiple du nombre minimum, plusieurs encoches consécutives doivent être affectées à une même phase, par exemple la figure 218 s'applique à un inducteur triphasé en anneau à deux encoches par phase.

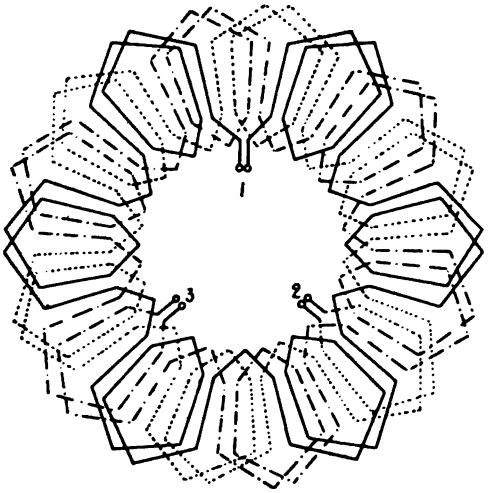



Fig. 223. — Schéma d'un enroulement triphasé en tambour, à 12 pôles et 2 spires par phase, avec répartition uniforme des spires.

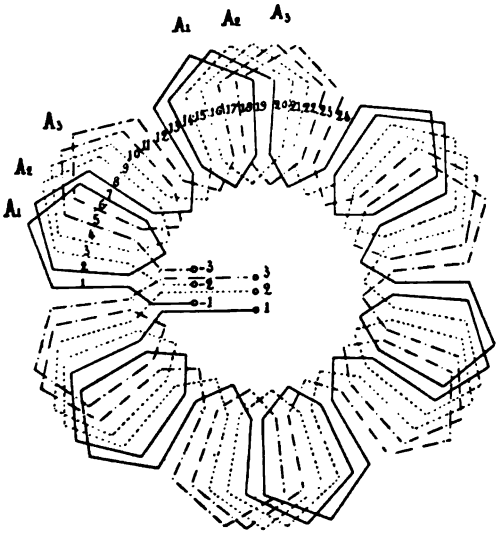



Fig. 224. — Schéma du même enroulement triphasé, avec répartition non uniforme des spires.

Les connexions entre sections se font comme pour les alternateurs, c'est-à-dire que les sections de même phase des divers champs sont couplées généra-

Digitized by Google

lement en série. La figure 222 montre par exemple un enroulement diphasé en anneau, et les figures 223 et 224 deux bobinages différents d'un même enroulement triphasé en tambour.

Supposons par exemple qu'il s'agisse d'un moteur triphasé à 12 pôles et à 2 encoches par phase, on aura en tout

$$2 \times 3 \times 12 = 72 \text{ encoches}$$

le long de la surface interne de l'inducteur ; l'enroulement comportera 72 sections en anneau ou 36 en tambour, dans le cas de la figure 224. Il sera effectué conformément au tableau suivant, dans lequel nous différencions les chiffres par les signes + et — suivant que les fils sont bobinés d'avant en arrière ou d'arrière en avant :

| BOBINAGE EN ANNEAU | | | BOBINAGE EN TAMBOUR | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Phase 1. | Phase 2. | Phase 3. | Phase 1. | Phase 2. | Phase 3. |
| + 1 | + 3 | + 5 | + 1 | + 3 | + 5 |
| + 2 | + 4 | + 6 | — 7 | — 9 | — 11 |
| — 7 | — 9 | — 11 | + 2 | + 4 | + 6 |
| — 8 | — 10 | — 12 | — 8 | — 10 | — 12 |
| + 13 | + 15 | + 17 | + 13 | + 15 | + 17 |
| + 14 | + 16 | + 18 | — 19 | — 21 | — 23 |
| — 19 | — 21 | — 23 | + 14 | + 16 | + 18 |
| — 20 | — 22 | — 24 | — 20 | — 22 | — 24 |
| + 25 | + 27 | + 29 | + 25 | + 27 | + 29 |
| + 26 | + 28 | + 30 | — 31 | — 34 | — 35 |
| — 31 | — 33 | — 35 | + 26 | + 28 | + 30 |
| — 32 | — 34 | — 36 | — 32 | — 33 | — 36 |
| etc. | | | etc. | | |

Il y a deux extrémités libres pour chaque circuit, soit 6 en tout, qui permettent de donner divers groupements aux enroulements, comme on le verra plus loin.

Le même moteur avec le même nombre d'encoches peut être transformé en moteur diphasé à trois encoches par phase sous chaque pôle ; le bobinage se fait alors de la manière suivante, en anneau par exemple :

1re *phase :* + 1 + 2 + 3 — 7 — 8 — 9 + 13 + 14 + 15 — 19 — 20 — 21

2e *phase :* + 4 + 5 + 6 — 10 — 11 — 12 + 16 + 17 + 18 — 22 — 23 — 24, etc. ;

de même pour les enroulements en tambour.

Il reste 4 extrémités libres au lieu de 6.

*Cylindre intérieur.* — Les mêmes modes de bobinage peuvent être appliqués

Digitized by Google

sans changement au cylindre intérieur, avec cette seule différence que les *encoches* sont disposées sur la surface extérieure du cylindre. Pour l'enroulement en tambour, les bobines Eickemeyer sont préférables.

Les connexions doivent être établies suivant les mêmes règles que pour le cylindre extérieur; on peut aussi conserver le bobinage étoilé des moteurs à courant continu, en se contentant de supprimer le collecteur et de faire trois prises de courant à 120°; mais il y a forcément un pôle qui a une encoche en plus ou en moins des autres, ce qui entraîne une certaine dissymétrie.

Pour le même motif, ce genre d'enroulement étoilé n'est pas recommandable non plus pour le cylindre extérieur. Il a, du reste, l'inconvénient de ne pas permettre les changements de couplage des circuits.

Les bobinages des deux cylindres doivent avoir même nombre de pôles; mais pour éviter la production de points morts, on doit choisir des nombres d'encoches différant entre eux le plus possible; si l'inducteur est diphasé, on trouvera avantage à faire l'induit triphasé et inversement. Par exemple, dans le moteur à 12 pôles considéré ci-dessus, on prendrait 4 ou 8 encoches par pôle, soit en tout 48 ou 96 encoches, puisque le nombre de pôles de l'induit doit être forcément égal à celui de l'inducteur. Il faudra en outre avoir soin, si l'on emploie pour l'un d'eux des encoches ouvertes, de donner à l'autre des encoches fermées ou semi-fermées pour éviter d'étrangler le flux magnétique.

**Connexions des enroulements.** — Les quatre ou les six extrémités libres des inducteurs di- ou triphasés doivent être reliées au réseau d'alimentation qui, dans les deux cas, comprend trois câbles. Pour les moteurs diphasés, on donnera aux deux enroulements $A_1$, $A_2$ (fig. 225) un retour commun les reliant aux rails; pour les moteurs triphasés, qui ont trois circuits $A_1$, $A_2$, $A_3$ (fig. 226), on a le choix entre le *montage en étoile* (fig. 226), dans lequel les extrémités de sortie

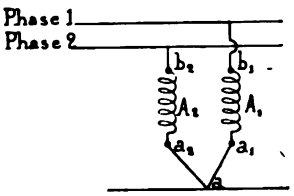



Fig. 225 — Connexions avec le réseau d'alimentation pour un moteur diphasé.

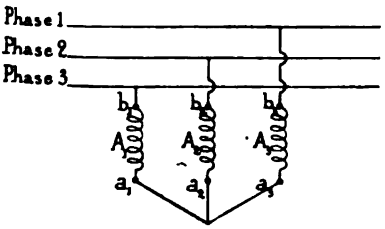



Fig. 226. — Connexions avec le réseau pour un moteur triphasé, montage en étoile.

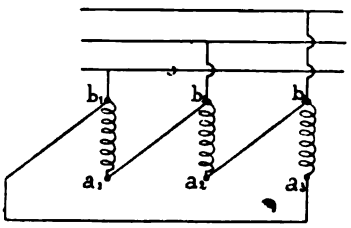



Fig. 227. — Connexions du même moteur, montage en triangle.

$a_1$, $a_2$, $a_3$ sont réunies en un point neutre où le courant de retour

Digitized by Google

résultant s'annule, et le *montage en triangle* (fig. 227), dans lequel l'extrémité de sortie de chaque circuit est connectée à l'extrémité d'entrée du suivant et les trois points communs $b_1$, $b_2$, $b_3$ sont reliés respectivement aux trois conducteurs de distribution.

Fig. 228. — Moteur triphasé de Brown, Boveri et Cie, appliqué aux voitures du tramway de Lugano. Vue d'ensemble prise d'en haut.

Dans tous les cas, le nombre des bornes d'alimentation se trouve réduit à trois.

Pour l'induit, l'enroulement triphasé peut être employé également avec les deux modes de groupement; les trois extrémités $b_1$, $b_2$, $b_3$ doivent être reliées, non plus aux conducteurs du réseau,

Digitized by Google

mais à des rhéostats extérieurs[1] servant à la régulation de la vitesse; de même pour les trois extrémités $a, b_1, b_2$ d'un induit diphasé.

On voit que, quels que soient les rôles respectifs des deux cylindres, c'est-à-dire qu'ils servent d'inducteur ou d'induit, le cylindre mobile a besoin de trois contacts frottants ; ces contacts sont formés de trois bagues en cuivre isolées de l'arbre et sur lesquelles passent autant de balais fixes en cuivre ou en charbon. La nécessité de ces frotteurs est sans inconvénient pratique, car ils ne donnent lieu à aucune étincelle et les bagues n'exigent aucun entretien ; il n'y a aucune analogie entre ces frotteurs et les collecteurs des moteurs à courants continus, et le moteur polyphasé a de ce chef une réelle supériorité.

Quant au cylindre extérieur, comme il n'y a aucun inconvénient à augmenter le nombre de ses prises de courant, qui sont fixes, on peut lui donner, s'il y a lieu, autant de bornes qu'il y a d'extrémités pour les enroulements, c'est-à-dire quatre ou six, suivant le système.

**Choix du cylindre inducteur et du cylindre induit.** — Les considérations précédentes montrent qu'il n'est pas indifférent, au point de vue de la pratique de la traction, de prendre pour inducteur ou pour induit l'un ou l'autre des cylindres des moteurs, malgré la symétrie de ceux-ci.

Si l'on prend comme inducteur le cylindre extérieur, suivant l'usage suivi pour les moteurs industriels de puissance moyenne, on a pour les courants triphasés l'avantage de pouvoir modifier les connexions des bobines et passer en particulier du montage étoilé au montage en triangle, et inversement ; mais si l'on veut conserver aux contacts frottants des dimensions restreintes, et aux moteurs la possibilité d'être couplés en tandem, sur les voitures à deux moteurs, il faut renoncer à faire le bobinage du cylindre intérieur en barres. L'induit en fil présente alors une construction aussi compliquée que l'inducteur.

Au contraire, si l'on prend comme inducteur le cylindre inté-

[1] Pour les moteurs fixes, à vitesse constante, on emploie bien des résistances fixes logées dans l'induit mobile, mais cette disposition est inapplicable aux moteurs de tramways enfermés dans une enveloppe étanche et qui nécessitent des résistances variables.

Digitized by Google

rieur, on doit renoncer à la régulation en tandem ou par changement de couplage des bobines primaires, mais on peut alors bobiner l'induit extérieur en barres de cuivre massif[1], offrant sous un faible encombrement une grande section de cuivre favorable au rendement et parcourues par des courants d'assez faible tension pour rendre l'isolement très facile. Ce type de construction est l'inverse de celui de la figure 215.

Pour les moteurs de chemin de fer, à grande puissance et à grande vitesse, il devient possible d'exécuter en barres les deux enroulements ; on se trouvera alors dans les conditions les plus favorables.

L'emploi d'induits à barres rend la construction des moteurs polyphasés à peu près aussi simple et aussi robuste que celle des moteurs à courants continus ; lorsque le cylindre extérieur est ainsi constitué, il n'a besoin d'aucun entretien ; quant à l'inducteur, il est plus simple que celui d'un moteur à courant continu, aussi facile à isoler et à réparer, et il demande moins d'entretien grâce à la suppression du collecteur.

Le noyau du cylindre induit, formé de tôles assemblées avec l'enveloppe, ne présente pas, il est vrai, la même solidité que la carcasse massive du moteur à courant continu ; mais rien n'empêche de la faire en fer plein, si l'on peut forer dans cette masse sans trop de dépense les encoches nécessaires pour loger les barres de cuivre et si le couple est suffisant[2]. Un moteur ainsi construit serait plus simple et demanderait moins d'entretien qu'aucun moteur à courant continu. Il peut s'ouvrir tout aussi aisément si on coupe les développantes dans le plan d'ouverture, en munissant les deux moitiés d'équerres qui viennent au contact lorsqu'on ferme l'enveloppe.

Lorsqu'on emploie un enroulement d'induit en barres, il faut

[1] Le couple moteur ne dépend que de la section du cuivre et non du nombre des spires dans chaque encoche ; on peut donc choisir ce nombre arbitrairement et le réduire à un si l'on veut.

[2] M. von Dolivo Dobrovolsky a montré que pour les moteurs industriels on peut même faire l'induit en fer plein sans barres de cuivre ; mais un moteur ainsi construit ne démarre guère qu'à vide ; l'emploi de circuits séparés et de rhéostats est nécessaire pour démarrer sous charge, et les noyaux en tôle feuilletée donnent eux-mêmes un couple plus énergique que les noyaux en fer plein.

Digitized by Google

remarquer que les courants secondaires de basse tension, très intenses, exigent pour leur transmission des bornes au rhéostat des câbles de très forte section ; il est donc rationnel, dans ce cas, de placer les rhéostats à proximité immédiate des moteurs et de les commander des deux plates-formes à l'aide de chaînes ou de cordes, comme on le faisait sur les anciennes voitures Thomson-Houston à courant continu ; cela ne présente aucune difficulté. A ce point de vue, pour réduire l'intensité du courant, il est bon d'adopter pour les enroulements le montage en étoile plutôt qu'en triangle.

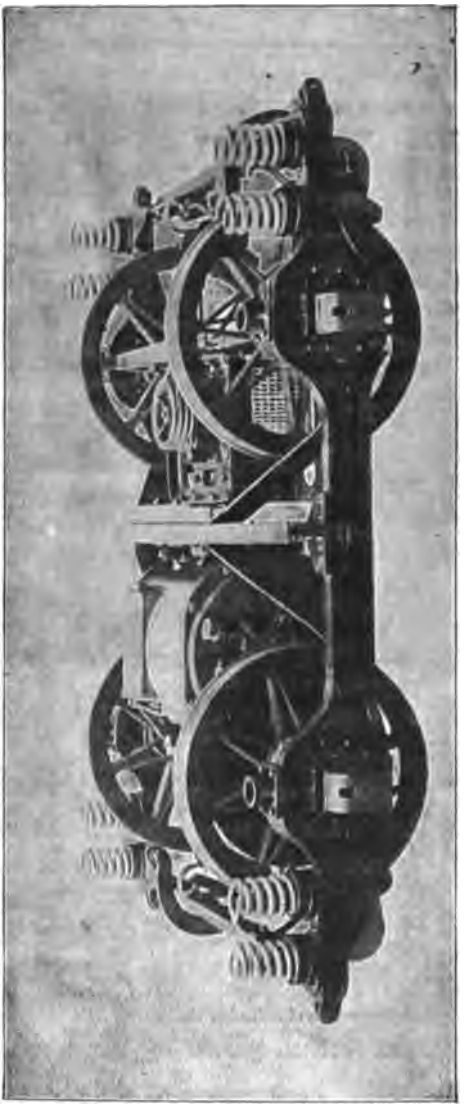
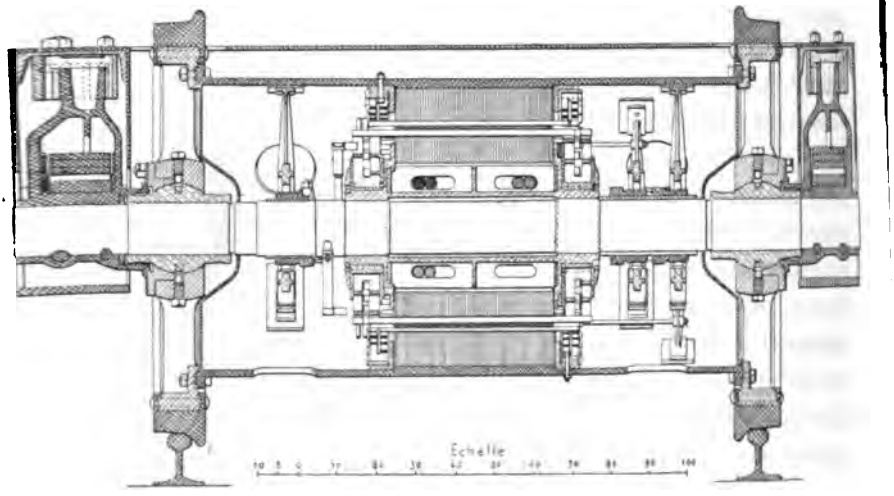


Fig. 229. — Truck des voitures du tramway de Lugano, avec un moteur triphasé et son rhéostat.

**Exemples de moteurs polyphasés de traction.** — Il n'existe actuellement que peu d'exemples de ces moteurs; les premiers ont été ceux de Lugano, construits par la maison suisse Brown-Boveri, de Baden. La figure 228 représente un de ces moteurs, vu d'en haut, et la figure 229 l'ensemble du truck à un moteur. Celui-ci est de 20 chevaux nominaux à 12 pôles; la fréquence est de 42 périodes et la vitesse normale de 400 tours par minute,

Digitized by Google

correspondant à un parcours de 15 km. à l'heure. Le moteur pèse 690 kg. sans engrenages et 820 kg. complet; il traîne sur voie de




Coupe verticale.

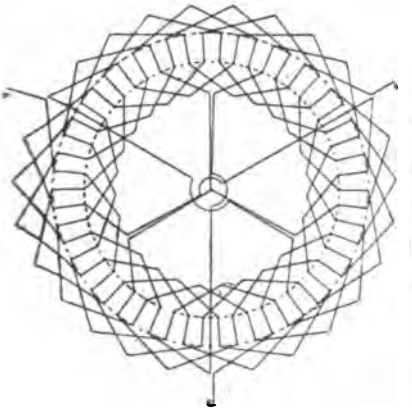


Schéma de l'enroulement inducteur étoilé.

Élévation transversale.

Fig. 230. — Moteur gearless polyphasé de Brown, pour locomotive Heilmann.

1 m. des voitures de 24 places et leur fait franchir des rampes de 6 p. 100.

A côté de ces moteurs à engrenages, on doit mentionner un moteur polyphasé à commande directe, établi également sur les plans de M. Brown, par la Société « l'Éclairage électrique », à titre

Digitized by Google

d'essai, pour la première locomotive Heilmann[1]. Ce moteur, dont la figure 230 donne une coupe longitudinale et une élévation transversale, était à induit mobile et à inducteur fixe calé directement sur l'essieu immobilisé par ses extrémités; les courants étaient amenés par trois conducteurs passant par un trou central; l'induit, solidarisé avec les roues par un tambour en tôle, était muni de trois balais mobiles, frottant sur des bagues que trois conducteurs passant dans l'essieu reliaient aux rhéostats de démarrage. Les deux cylindres avaient des enroulements en barres de cuivre, à 8 pôles, l'extérieur formé de 90 barres, l'intérieur de 54, connectées par des développantes en cuivre. Les essais de ce moteur, auxquels l'un de nous a eu l'occasion d'assister en 1893, ont été exécutés en faisant tourner le cylindre extérieur autour du cylindre intérieur et en mesurant le travail au frein : la puissance mécanique développée a été de 65 chev. en pleine charge et aurait pu être poussée plus loin ; mais on dut reconnaître que le moteur était incapable de démarrer sous charge sans rhéostat, et que, même avec l'emploi de celui-ci, il ne donnait qu'un effort maximum à la jante insuffisant (350 kg.). On renonça donc aux moteurs polyphasés pour l'équipement des bogies à quatre essieux moteurs qui avaient été prévus. Cet insuccès relatif était dû à la présence d'un entrefer calculé un peu largement[2].

Le maison Ganz et Cie, de Budapest, a installé plus récemment dans ses usines un petit chemin de fer électrique à courants triphasés qui fonctionne d'une manière très satisfaisante. Le moteur construit pour ce service pèse 550 kg. sans engrenages, tourne à la vitesse de 450 tours et démarre franchement sur une rampe de 6,5 p. 100 avec une voiture de 6 500 kg. en développant un effort qui correspond à un couple de 40 kgm. sur l'arbre moteur. Le facteur de puissance (rapport de la puissance électrique consommée réellement au produit de l'intensité par la différence de potentiel aux bornes) atteint 0,88 à la puissance de 16 chev. effectifs,

[1] Voir le très intéressant mémoire présenté par M. J.-J. Heilmann à la Société industrielle de Mulhouse, 30 novembre 1892.

[2] Aujourd'hui on réaliserait des conditions plus favorables, grâce aux progrès réalisés depuis cette époque ; mais les moteurs à courant continu ont fourni à M. Heilmann un mode de régulation spécial de locomotive si avantageux qu'il a renoncé aux moteurs polyphasés malgré leurs autres avantages.

Digitized by Google

0,845 à 10 chev., et 0,80 à 7 chev., chiffres fort élevés pour un moteur de ce genre et qui indiquent une excellente construction.

Plusieurs autres constructeurs européens étudient des matériels polyphasés. En Amérique, dans le cours des dernières années, des essais de traction par moteurs alternatifs ont été également exécutés par les grandes compagnies, notamment à Pittsburgh par la Westinghouse Electric Co.

N'ayant pu obtenir des constructeurs aucun renseignement sur les constantes des enroulements, nous avons fait nous-mêmes, pour en donner ici les résultats, une étude d'un moteur triphasé de traction capable de remplacer les appareils à courant continu du type normal de 20-30 chevaux. Ce moteur, dont l'inducteur est formé par le cylindre intérieur, est constitué de la manière suivante.

Fréquence 40 ∽. Nombre de pôles 8. Vitesse à vide 600 tours. Engrenages simples à réduction 1/5,5 ; vitesse correspondante de la voiture 15 km. : h. avec roues de 0,75 m. Voltage d'alimentation 220 volts entre bornes [1] (f. e. m. polygonale). Inducteur mobile ; montage des circuits en étoile.

*Inducteur.* — Noyau en tôles de 5/10 porté par un tube en bronze ; diamètre intérieur 100 mm., diamètre extérieur 360 mm. ; épaisseur 250 mm. ; 48 encoches ouvertes rectangulaires, terminées en queue d'hironde sur l'entrefer, garnies de 1 mm. de micanite, fermées par des coins en bois ; profondeur 40 mm., largeur 13 mm. ; ouverture sur l'entrefer 6 mm.

Bobinage en tambour à 2 encoches par phase sous chaque pôle ; 96 sections, genre Eickemeyer, ayant chacune 6 spires en fil de 45/10 (16 mm.$^2$). Résistance de chacun des circuits 0,36 ohms. Entrefer 1 mm. Induction 3 000 c. g. s.

*Induit.* — Noyau en tôles de 5/10 porté par une enveloppe en fonte ; diamètre extérieur 570 mm., diamètre intérieur 400 mm.

64 encoches semi-fermées rectangulaires ; profondeur 32 mm., largeur 12 mm. Enroulement diphasé formé de 128 barres plates de $4 \times 30 = 120$ mm.$^2$, à raison de 2 barres par encoche [2] et de 8 par phase dans chaque champ. Résistance de chacun des circuits 0,014 ohm.

Régime permanent, charge normale, 20 chev. Vitesse 570 tours ; glissement 0,05. Courants primaires, 60 ampères efficaces dans chaque phase ; densité de courant correspondante 3,75 ampères par mm$^2$. Courants secondaires, 240 ampères par phase ; densité de courant correspondante, 2 ampères par mm$^2$. Rendement 83 p. 100 ou avec les engrenages 78 p. 100. Facteur de puis-

[1] Nous avons choisi ce chiffre de 220 volts comme un maximum de la différence de potentiel entre fils qu'on admettrait en France pour les courants alternatifs sur la voie publique. Le chiffre de 400 volts accepté à Lugano présente des dangers sérieux pour les personnes. Nous reviendrons sur ce sujet dans l'étude de la Distribution.

[2] L'emploi de deux barres par coche, au lieu d'une seule de section double, est motivé ici par le désir de réduire au minimum les courants à conduire au rhéostat, sans perdre la simplicité de construction résultant de l'emploi de barres au lieu de fils. Chaque barre est enveloppée d'un ruban de micanite.

Digitized by Google

sance, 84 p. 100. Courant déwatté, 32 ampères; courant magnétisant à vide, 20 ampères. Couple normal 25 kilogrammètres.

Couple maximum possible au même voltage, sans changer les connexions, 45 kilogrammètres; courants correspondants par phase : primaires, 162 ampères; secondaires, 700 ampères; vitesse, 500 tours (sans rhéostat).

Ce moteur donne une idée de ce qu'on peut obtenir dans cette voie; il présente une très bonne stabilité de marche mesurée par le rapport entre le couple normal et le couple maximum. Celui-ci peut, du reste, être sensiblement triplé, en faisant passer le montage des inducteurs de l'étoile au triangle, ainsi qu'on le verra au chapitre XI.

**Difficultés que présente encore la construction de ces moteurs.** — Sans aborder encore la discussion des avantages respectifs des moteurs à courants continus ou polyphasés, qui trouvera mieux sa place au chapitre IX, après l'étude de leur fonctionnement, il est bon de mettre ici les lecteurs en garde contre une idée trop optimiste de l'emploi des appareils à champ tournant pour la traction. Sans doute, il est facile aujourd'hui de construire de bons moteurs *fixes* ayant un bon rendement, une puissance spécifique au moins égale à celle des moteurs à courants continus et ne donnant lieu qu'à un faible décalage des courants alternatifs; mais la condition essentielle pour obtenir ce résultat, c'est de n'employer qu'un petit nombre de pôles, 4 à 6 pour un moteur de 10 à 20 chevaux, et de très petits entrefers, inférieurs à 2 mm. Un moteur de tramway de même puissance, mais à 10 ou 12 pôles, et avec un entrefer suffisant présente forcément des fuites magnétiques importantes, qui réduisent la stabilité et le couple de démarrage, et un courant déwatté relativement élevé, très gênant pour la production et la distribution du courant. La nécessité de faire travailler le fer à de basses inductions pour réduire les pertes magnétiques et les pertes d'énergie rend difficile de loger des moteurs puissants dans le truck d'une automobile de tramway où l'on ne dispose que d'un emplacement limité. L'emploi de petits entrefers est en outre une sujétion très gênante pour l'exploitation, car il suffit d'une faible usure des coussinets pour amener des grippements.

On trouverait avantage, pour les moteurs considérés seuls, à réduire leur nombre de pôles, soit par l'emploi de la double réduction, soit par l'abaissement de la fréquence (20 ou 25 périodes par exemple); mais on connaît les inconvénients de la première solution; quant à la seconde, elle augmente sensiblement le poids des moteurs et des transformateurs du réseau. Les données que nous avons choisies dans l'exemple ci-dessus, 40 $\sim$ et 8 pôles, paraissent actuellement les plus pratiques, en dehors des quartiers populeux où elles donneraient des vitesses un peu élevées. Mais toutes les fois qu'on le pourra économiquement, on fera bien de chercher à abaisser la fréquence; c'est le le seul moyen qui permette d'augmenter l'entrefer, et d'obtenir de bons couples de démarrage et un facteur de puissance élevé.

Sur les chemins de fer, les vitesses plus grandes présentent à ce point de vue des conditions plus favorables; c'est heureusement dans ce cas surtout que l'emploi des moteurs polyphasés est désirable.

---

Digitized by Google

# CHAPITRE VI

## VOITURES AUTOMOBILES

**Principe de la séparation du truck et de la caisse.** — Comme nous l'avons dit, les premiers moteurs électriques appliqués à la propulsion des véhicules ont été simplement suspendus au plancher de la caisse, soit en entier, soit seulement par une de leurs extrémités, l'autre reposant sur l'essieu ; les voitures étaient d'anciens cars à chevaux dont on s'était contenté de changer les essieux et de renforcer le bâti inférieur. Mais les trépidations insupportables qui se transmettaient des engrenages à la caisse, la détérioration rapide de celle-ci et des moteurs, et la nécessité de pouvoir visiter ou réparer facilement ces organes conduisirent à rendre l'appareil locomoteur complètement indépendant de la caisse en le logeant dans un châssis spécial porté par les roues et tout à fait distinct du reste de la voiture.

L'ensemble de ce châssis et de ses roues montées, le *truck*, pour employer l'expression américaine, constitue à lui seul un véhicule complet, sur lequel la caisse servant à renfermer les voyageurs est simplement posée et dont elle peut être enlevée à volonté.

Cette indépendance offre de telles facilités pour l'entretien et le remplacement des différentes parties du véhicule électrique, elle accroît à un tel point la durée du matériel que le principe du truck locomoteur séparé a été à peu près universellement adopté.

Il se retrouve avec les mêmes caractères généraux et les mêmes fonctions dans toutes les automobiles modernes, aussi bien celles de tramways que celles de chemins de fer. Mais c'est dans le matériel roulant des tramways que le changement du mode de traction a amené la transformation la plus profonde.

Digitized by Google

## § 1. — Trucks d'automobiles de tramways

**Généralités.** — Il n'y a aucune assimilation à faire entre le truck locomoteur des voitures de tramways électriques et le châssis rigide analogue des automobiles à vapeur, à air comprimé ou à gaz : les conditions d'emploi des moteurs électriques comme moyen de propulsion sont trop différentes de celles des autres moteurs.

L'expérience déjà relativement longue acquise aux États-Unis dans la construction et l'exploitation des tramways électriques a d'ailleurs permis de fixer d'une manière à peu près certaine les meilleures dispositions à adopter pour satisfaire à ces conditions; le matériel roulant américain est ainsi parvenu aujourd'hui à un degré de perfection remarquable et peut servir de modèle aux constructeurs européens. C'est donc ce matériel que nous nous attacherons à décrire plus spécialement.

D'une manière générale, un truck de tramway électrique se compose de deux parties principales : le châssis et les trains de roues.

Le *châssis* est un cadre rigide rectangulaire formé de deux longerons reliés par des traverses. Les *boîtes à graisse*, dans lesquelles sont emprisonnées les fusées d'essieu, coulissent entre les branches de *plaques de garde* faisant corps avec les longerons, de façon à rendre les *trains de roues* solidaires du châssis; c'est par ces plaques de garde que le mouvement de translation de l'essieu moteur se transmet au véhicule.

Dans les premiers trucks électriques, qui ont fait leur apparition aux États-Unis en 1887, le châssis reposait directement sur les boîtes à graisse. Mais les secousses et les trépidations dues aux inégalités de la voie, qui se transmettaient ainsi intégralement au truck, modifiaient la structure du métal, détérioraient les moteurs, desserraient les boulons d'assemblage et disloquaient rapidement toute la charpente; la voie elle-même avait à souffrir du martelage répété produit par les réactions de cette masse non suspendue. On reconnut bien vite la nécessité d'interposer des ressorts entre le châssis et les boîtes à graisse.



Digitized by Google

Dans le même ordre d'idées, le moteur ne doit pas être fixé au truck d'une manière absolument rigide, et nous avons indiqué plus haut, avec détails, les procédés par lesquels les constructeurs s'efforcent de réduire la partie de son poids qui porte sur l'essieu sans intermédiaire élastique.

La caisse elle-même repose sur le châssis par d'autres ressorts, en sorte que la suspension de la voiture est double. Il en résulte une douceur de marche tout à fait remarquable et une réduction au minimum de l'effet de martellement résultant du passage des roues sur les irrégularités de la voie, puisqu'il n'y a guère que les essieux qui ne soient pas pourvus d'une suspension élastique.

C'est là le mode de construction exclusivement employé de l'autre côté de l'Atlantique; s'il ne s'est pas encore absolument généralisé en Europe, c'est probablement qu'en raison de l'état généralement meilleur de nos voies, l'attention de nos constructeurs n'a pas été aussi vivement appelée que celle de leurs confrères américains sur la nécessité d'une suspension aussi parfaite que possible, non seulement pour le confort des voyageurs, mais encore au point de vue de l'économie d'exploitation.

**Conditions à remplir.** — Les conditions à remplir par un truck électrique sont d'abord la *solidité* et l'*indéformabilité*. Les efforts imposés à la charpente par les réactions de la voie, notamment au passage des courbes, sont en effet beaucoup plus grands avec la traction électrique qu'avec la traction animale, par suite du poids et de la vitesse bien plus considérables du véhicule, qui, d'autre part, ne se trouve plus guidé par son attelage. A ces efforts extérieurs viennent se joindre les tensions intérieures produites par les moteurs et notamment l'effort de torsion qui résulte de l'attaque en deux points diagonalement opposés des deux essieux d'un truck à deux moteurs. Le châssis doit être assez robuste pour résister à ces efforts tout en conservant l'invariabilité de forme indispensable pour maintenir l'alignement parfait des engrenages. C'est une condition difficile à réaliser, car l'obligation de réserver la place des moteurs empêche tout entretoisement diagonal du châssis et ne permet que la consolidation des angles au moyen d'équerres ou de goussets ; en tout cas, l'indéformabilité doit être obtenue

Digitized by Google

indépendamment de la caisse, qui doit rester complètement distincte du truck.

En second lieu, le truck doit être *facilement accessible* dans toutes ses parties : le moteur et ses transmissions, les essieux et les roues, les coussinets de friction, en un mot tous les organes sujets à l'usure et à la détérioration doivent pouvoir être aisément visités et remplacés, sans qu'on ait besoin de démonter complètement le châssis.

Une autre condition essentielle, c'est que les ressorts de suspension soient disposés de façon à *empêcher les mouvements de tangage et de roulis* de la voiture, aussi bien à vide qu'en charge. Cette condition, importante pour les voyageurs, l'est peut-être plus encore pour le matériel, que le martellement et les chocs ainsi occasionnés fatiguent excessivement. Le tangage surtout est nuisible, car il a pour effet de reporter alternativement la plus grande partie du poids du véhicule d'un essieu sur l'autre et produit ainsi les patinages partiels des roues et les inégalités de charge des moteurs dont les inconvénients seront analysés plus loin dans l'étude de la Traction. Il faut noter d'ailleurs que la tendance à osciller longitudinalement est forcément plus grande dans les voitures électriques que dans les voitures à chevaux, dont la longueur et la vitesse sont moindres et qui sont jusqu'à un certain point appuyées sur l'essieu d'avant par la traction de l'attelage.

Les trucks que fabriquent actuellement les bonnes maisons américaines satisfont convenablement à ces divers desiderata. Ils ne diffèrent guère d'ailleurs les uns des autres comme principe et se distinguent surtout par des détails de construction. Il est à noter que les formes tendent à se simplifier; les fabricants s'efforcent avec raison de réduire au minimum le nombre des parties de leurs trucks.

Suivant les cas, on emploie des trucks à deux, trois ou quatre essieux; ces essieux peuvent être parallèles ou convergents. Nous allons passer en revue successivement ces divers types.

**Trucks à deux essieux parallèles.** — La forme de truck la plus simple et de beaucoup la plus répandue est celle à deux essieux fixés d'une manière invariable dans le châssis.

Digitized by Google

Le parallélisme qui en résulte est évidemment une gêne pour l'inscription du matériel dans les courbes. Pour atténuer cet inconvénient, on a soin de donner aux essieux, dans le sens longitudinal et dans le sens transversal, un certain jeu grâce auquel ils peuvent réaliser une minime convergence. Malgré cela, l'écartement des essieux doit nécessairement rester assez faible pour permettre la circulation dans les courbes raides qu'on rencontre sur les tramways, et il en résulte des porte à faux souvent considérables.

Les véhicules à essieux parallèles circulant sur les tramways ordinaires, qui présentent des courbes de 20 m. de rayon et moins, peuvent difficilement avoir plus de 2 m. d'empattement. Comme, d'autre part, les voitures de tramvays fermées à deux essieux ne mesurent guère moins de 6 m. de longueur totale et que cette longueur atteint couramment 8 et même 9 m. dans les voitures d'été ouvertes, le rapport entre l'écartement des essieux et la longueur de la caisse se trouve généralement compris entre 0,30 et 0,25 et s'abaisse parfois jusqu'à 0,20, alors que pour les véhicules de chemins de fer on recommande de ne pas descendre au-dessous de 0,50 [1]. Avec un porte à faux aussi grand, les véhicules ont une tendance extrême à donner du nez, surtout lorsque, comme cela arrive souvent, la charge n'est pas uniformément répartie [2].

Aussi tous les efforts des constructeurs américains ont-ils tendu dès l'origine à combattre cet effet de balancement longitudinal.

*Matériel américain.* — Le problème était difficile, étant donné les surcharges excessives et les vitesses de 25 km. à l'heure, et davantage, admises sur les tramways des États-Unis. Pour le résoudre, on a eu l'idée de prolonger les longerons du châssis au delà des plaques de garde et de placer aux extrémités de ces prolongements des ressorts amortisseurs spéciaux qui n'entrent en action que lorsque le véhicule tend à donner du nez. Il a fallu, en même temps, donner aux deux poutres ainsi formées une résis-

[1] Voir les Conventions techniques relatives au matériel roulant de l'Union des chemins de fer allemands.

[2] Il est à remarquer en effet que, sur les voitures à plates-formes ouvertes, le séjour de la plate-forme d'avant est peu agréable par les mauvais temps et que les voyageurs ont dans ce cas une tendance à se concentrer sur la plate-forme d'arrière en désertant l'autre.

Digitized by Google

tance proportionnée à la longueur et au poids des nouvelles voitures, sans pour cela augmenter la hauteur totale du truck, car les Américains, estimant avec raison que l'accès des voitures de tramways doit être aussi commode que possible, veulent l'assurer

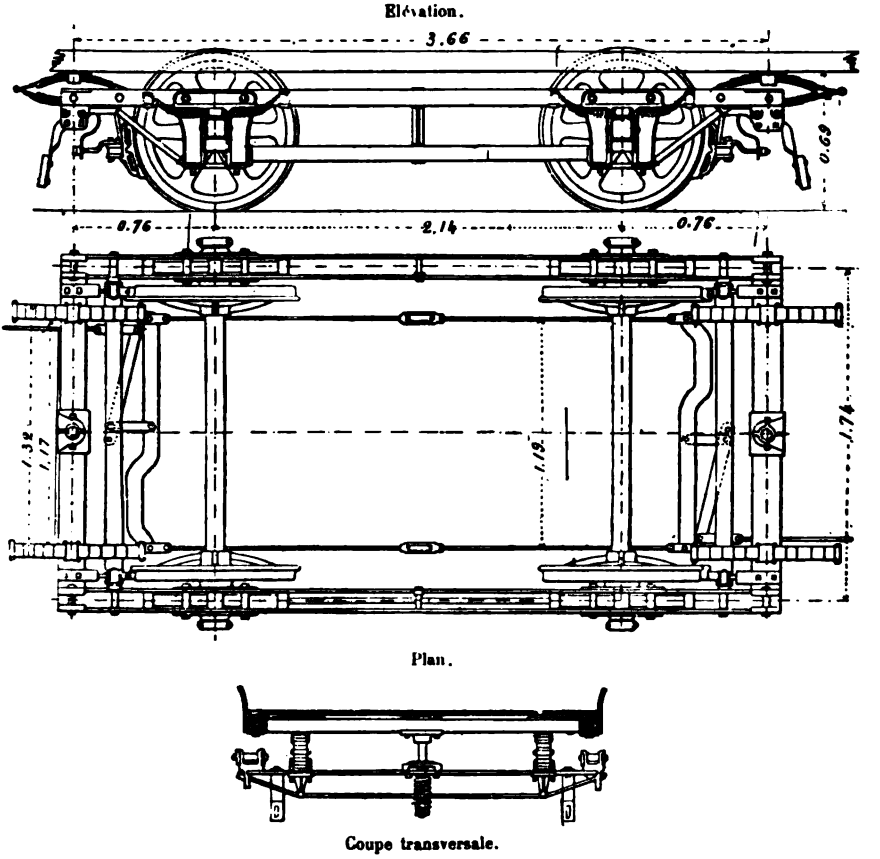



Fig. 231. — Truck Taylor.

au moyen d'une seule marche, ce qui force à tenir la plate-forme à 0,70 m. au maximum du niveau des rails.

On trouvera ci-après quelques types de trucks modernes ; il suffit, pour voir combien ils diffèrent des anciens, de se reporter à la figure 108, page 141, qui représente un des premiers trucks de Sprague.

Dans le truck *Taylor* (fig. 231), que nous prendrons comme premier exemple,

Digitized by Google

les longerons du châssis sont formés chacun de deux barres plates placées de champ et maintenues ensemble par des boulons. Des plaques de garde en fonte sont boulonnées sur ces longerons, qui sont armés au moyen de tirants d'acier

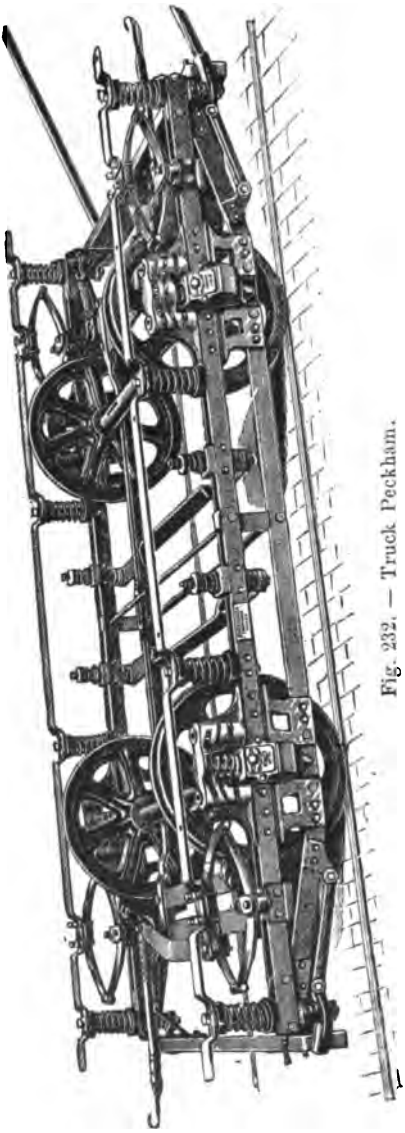


Fig. 232. — Truck Peckham.

Fig. 233. — Longeron du truck Peckham.

passant sous les plaques de garde. Le châssis est entretoisé par deux poutres armées légères, placées à chaque extrémité, et par deux traverses intermédiaires en fer plat, qui servent de support aux moteurs (ces entretoises ont été supprimées sur la figure). Des ressorts à lames sont interposés entre

Digitized by Google

les boîtes à graisse et le châssis. La caisse repose sur deux autres paires de ressorts elliptiques doubles appuyés sur les entretoises extrêmes ; elle est maintenue en place par deux boulons traversant ces entretoises et entourés de ressorts en spirale destinés à amortir les mouvements de tangage. Rien de plus facile, avec cette disposition, que d'enlever la caisse du truck, car il suffit pour la rendre libre de desserrer deux écrous.

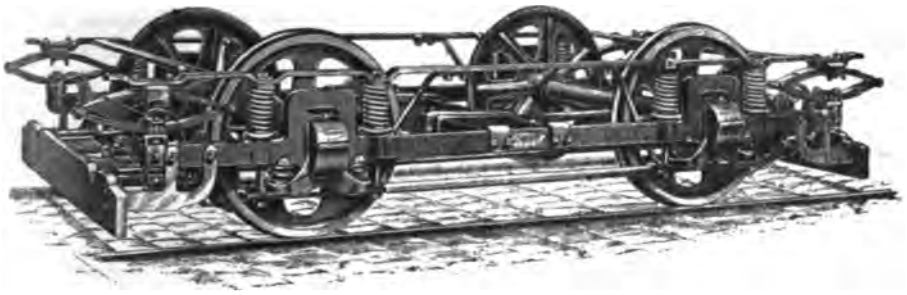


Fig. 234. — Truck Brill.

Ce truck se construit en trois grandeurs, correspondant à trois écartements d'essieux différents. La distance entre les axes des ressorts de suspension extrêmes est de

| | | |
|---|---|---|
| 3m,35 | avec l'écartement de | 1m,83, |
| 3 ,50 | — | 1 ,98, |
| et 3 ,66 | — | 2 ,14. |

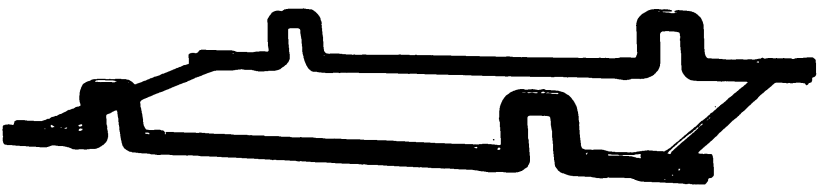


Fig. 235. — Châssis du truck Brill.

Avec des roues de 0,76 m., le dessous des brancards de la caisse se trouve à 0,69 m. des rails lorsque la voiture est vide.

Un grand nombre de trucks européens sont imités du truck Taylor, notamment ceux de la plupart des voitures équipées par la Cie française Thomson-Houston.

Le truck *Peckham*, un des plus en faveur aux Etats-Unis [1], est caractérisé par ses longerons en forme de poutre à consoles, dite « cantilever ». La figure 232 montre l'un des modèles de ce truck. Le longeron, représenté séparément sur la figure 233, est constitué par des barres d'acier plat, rivées sur les plaques de garde ; la membrure inférieure de la poutre est complétée par des entretoises

[1] Ce truck est également employé en Europe sur les lignes de Bristol, Dublin, Guernsey, Coventry, Leeds, etc.

Digitized by Google

amovibles en fonte, qui relient les extrémités des branches de la plaque et sont maintenues en place par des boulons. Pour sortir les essieux du châssis, il suffit de démonter ces pièces et de lever le truck. Les boîtes à graisse ne jouent pas, comme à l'ordinaire, entre des glissières ; elles reposent simplement sur un pivot venu de fonte avec l'entretoise qui ferme l'ouverture des fourches. Les ressorts interposés entre les boîtes à graisse et le châssis sont des ressorts à boudin gradués, composés de deux hélices concentriques, enroulées en sens contraire pour annuler l'effet de torsion résultant du raccourcissement du ressort ; ils reposent sur les boîtes à huile par l'intermédiaire de rotules. La caisse est boulonnée sur deux semelles longitudinales, distinctes du châssis

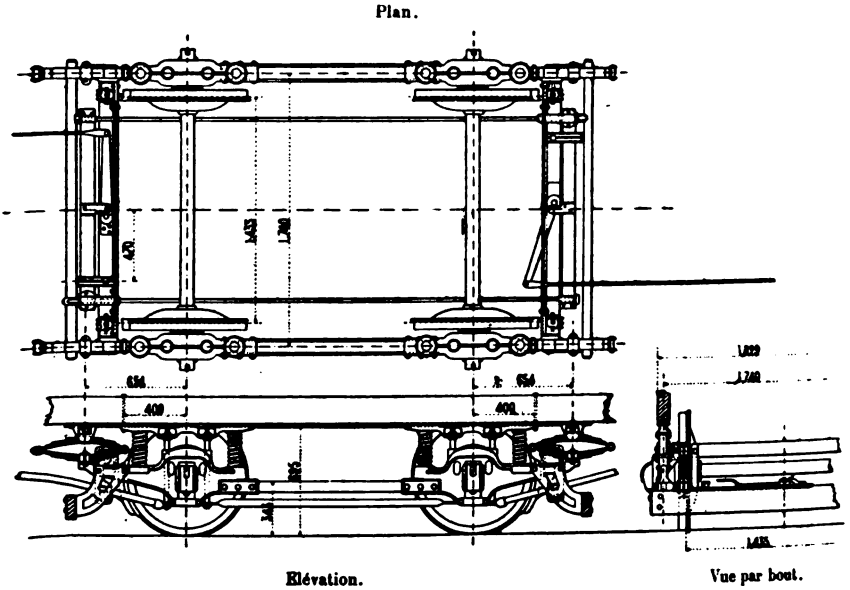



Fig. 236. — Truck Bemis.

proprement dit, dont elles sont séparées par un jeu de ressorts. On a adopté, pour la suspension de ces semelles, une combinaison de doubles ressorts à lames et de ressorts en hélice, bien gradués de manière à entrer en jeu les uns après les autres : les premiers agissent seuls sous les faibles charges ; lorsque le poids augmente, ils sont renforcés par les ressorts à boudin ; de cette manière, la marche de la voiture est aussi douce à pleine charge qu'à vide, avantage qui a son importance sur les mauvaises voies. D'autres ressorts spiraux sont disposés aux extrémités du châssis pour empêcher la voiture de donner du nez, et sont eux-mêmes complétés par des ressorts du même genre renversés, qui s'opposent aux mouvements de soulèvement de la caisse.

Le système de suspension du truck Peckham permet aux essieux d'osciller dans de larges limites sans qu'il se produise de mouvements périodiques de la voiture. On notera, en outre, que le constructeur a réduit au minimum le

Digitized by Google

nombre des boulons, toujours sujets à se desserrer sous l'influence des vibrations ; tous les assemblages du châssis sont rivés à chaud.

Les principaux modèles de trucks à 2 essieux fabriqués par la compagnie Peckham sont indiqués ci-dessous, avec leurs dimensions, poids et prix :

| TYPE | LONGUEUR des semelles supérieures | DISTANCE entre les axes des ressorts de suspension extrêmes | ÉCARTEMENT des essieux. | HAUTEUR de la semelle supérieure au-dessus du rail (roues de 0,76m.) | POIDS | PRIX [1] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Mètres | Mètres | Mètres | Mètres | Kilogr. | Francs |
| Excelsior . . . . | 3,96 | 3,43 | 1,98 | 0,70 | 2 000 | 1 235 |
| Standard . . . . | 4,27 | 3,86 | 1,98 | 0,70 | 2 000 | 1 360 |
| Extra long . . . | 4,88 | 4,27 | 1,98 | 0,70 | 2 100 | 1 485 |

[1] Ces prix s'appliquent au truck rendu au Havre.

Le truck *Brill* (fig. 234), également très répandu en Amérique, est remarquable

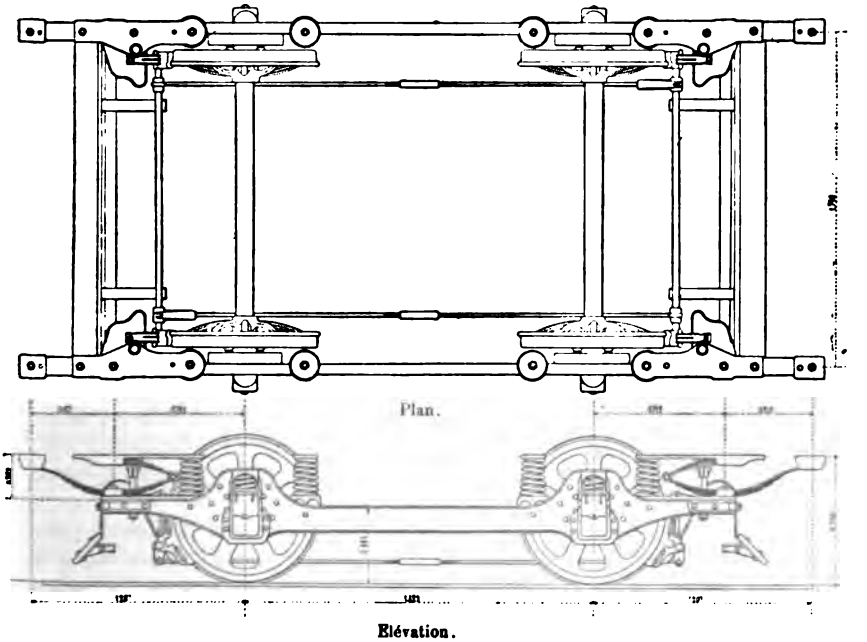



Fig. 237. — Truck McGuire (Columbian truck).

par la simplicité et la légèreté de son châssis, forgé d'une seule pièce ; les longerons (fig. 235) sont recourbés de manière à former plaques de garde.

Digitized by Google

Fig. 238. — « Diamond » truck.

La suspension de la caisse sur le châssis et celle du châssis sur les boîtes à graisse sont réalisées à l'aide de ressorts à boudin ; des ressorts elliptiques doubles placés aux 4 angles servent à amortir les oscillations longitudinales et viennent en même temps en aide aux ressorts spiraux en cas de très fortes charges. Le poids de ce truck est de 2200 kg. environ ; il coûte, en Amérique, 1125 fr. La compagnie Brill fabrique deux autres modèles de trucks à deux essieux parallèles, plus légers, mais aussi moins solides, qui pèsent respectivement 1700 et 1350 kg. et coûtent seulement 1000 fr. Le châssis de ces

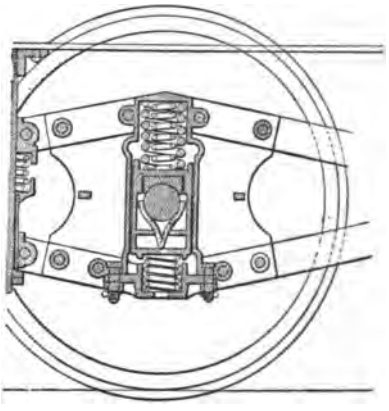


Fig. 239. — Détails de la suspension du « Diamond » truck.

trucks n'est plus d'une seule pièce : ses longerons sont formés de plaques de garde en fonte réunies par des barres d'acier plat.

Les compagnies *McGuire* et *Bemis* construisent des trucks à châssis composite du même genre, qui sont très employés. Le modèle courant de cette dernière maison est représenté par la figure 236.

On fait aussi des châssis dont les pièces principales sont en acier comprimé, embouti à la presse, ce qui permet de leur donner les formes les mieux adaptées à la résistance et à la simplicité des assemblages. Tel est le truck « Columbian » de la maison McGuire (fig. 237), qui comporte des longerons d'une seule pièce en acier comprimé formant en même temps plaques de garde. Plus de 5000 de ces trucks sont en usage de l'autre côté de l'Atlantique. En Europe, des trucks

Digitized by Google

très analogues sont employés notamment par l'Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft, la maison Siemens et Halske, la société Schuckert, etc.

Nous donnons enfin (fig. 238) la vue d'ensemble d'un truck de forme originale construit par la *Diamond Truck Co*. Chaque longeron est constitué par deux membrures formant des losanges opposés par le sommet, dans lesquels elles sont respectivement tendues et comprimées ; les plaques de garde, rivées sur

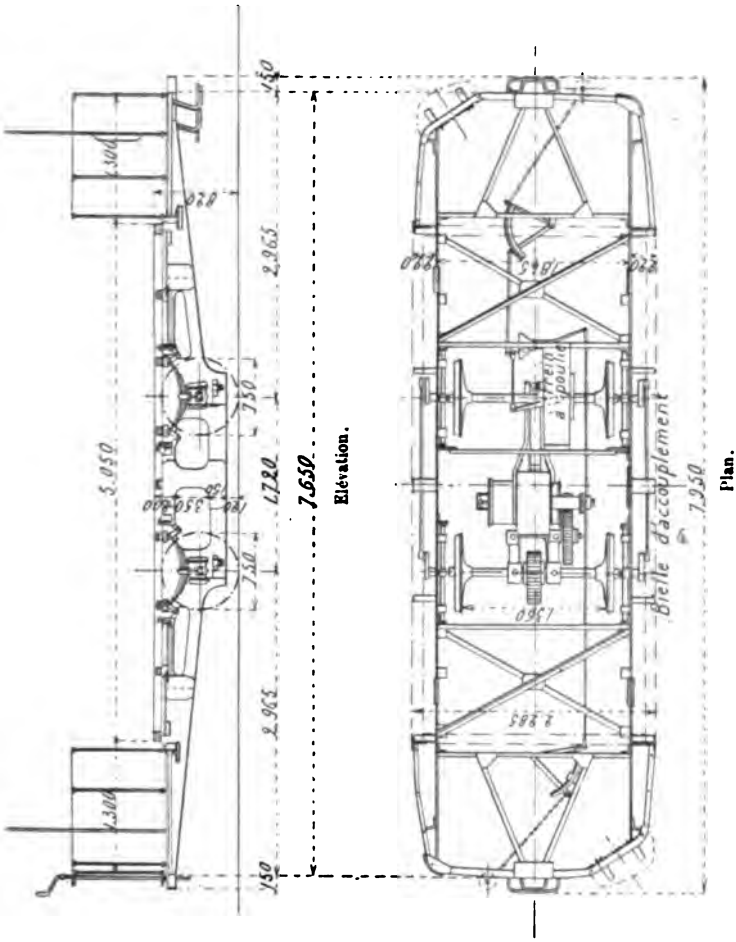



Fig. 240. — Châssis des voitures de Clermont-Ferrand.

ces membrures, forment poinçons. L'ouverture ménagée dans la membrure inférieure au droit de la boîte à graisse, pour permettre la sortie de l'essieu, est fermée par une entretoise amovible en fonte malléable, fixée en place par deux boulons. Entre cette pièce et la boîte à graisse (fig. 239) est comprimé un ressort à boudin, qui combat la tendance du longeron au balancement. Un autre ressort, composé de deux spirales concentriques, assure la suspension du châssis sur la boîte à graisse.

Digitized by Google

*Matériel européen.* — Le principe du truck moteur indépendant et de la double suspension n'est pas appliqué d'une manière aussi exclusive en Europe qu'en Amérique.

On trouve encore, sur les tramways européens, pas mal de voitures automobiles électriques à deux essieux qui comportent un châssis analogue à celui des voitures de chemins de fer ou à celui des locomotives, s'appuyant sur les boîtes à graisse par des ressorts à lames, et une caisse reposant sur ce châssis par l'intermé-

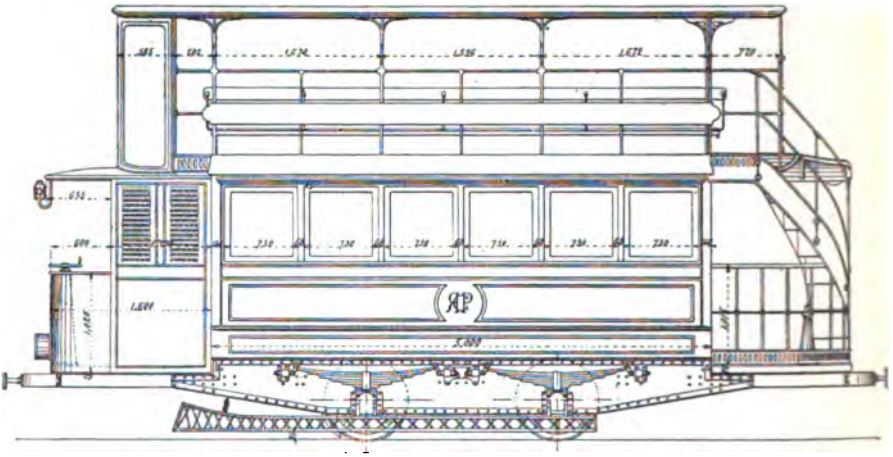


Fig. 241. — Voiture de Romainville.

diaire de simples tampons en caoutchouc ou même sans interposition d'aucun ressort. Les longerons du châssis s'étendent alors généralement sur toute la longueur du véhicule et les portions qui dépassent la caisse servent de supports aux plates-formes.

C'est ainsi qu'ont été construites notamment les voitures du premier tramway électrique établi en France, celles de Clermont-Ferrand, dont le châssis est représenté par la figure 240; le même système a été suivi dans la construction des voitures électriques de Marseille[1], de Toulon, de Paris-Romainville, etc.

La figure 241 montre l'élévation d'une de ces dernières, qui sortent des ateliers du Pont de l'Ourcq (*Desouches, David et Cie*). Les longerons sont constitués par des poutres en I, très hautes dans la partie médiane, allant en diminuant vers les extrémités, réunies au moyen de traverses en acier profilé;

[1] Cf. *Portefeuille Economique des Machines*, novembre 1893, pl. 42.

Digitized by Google

LECTRIQUE

e du truck moteur indépen
t pas appliqué d'une mo
Amérique.

nways européens, pas mal
leux essieux qui comporte
s de chemins de fer ou à c
es boîtes à graisse par des
ant sur ce châssis par l'inter

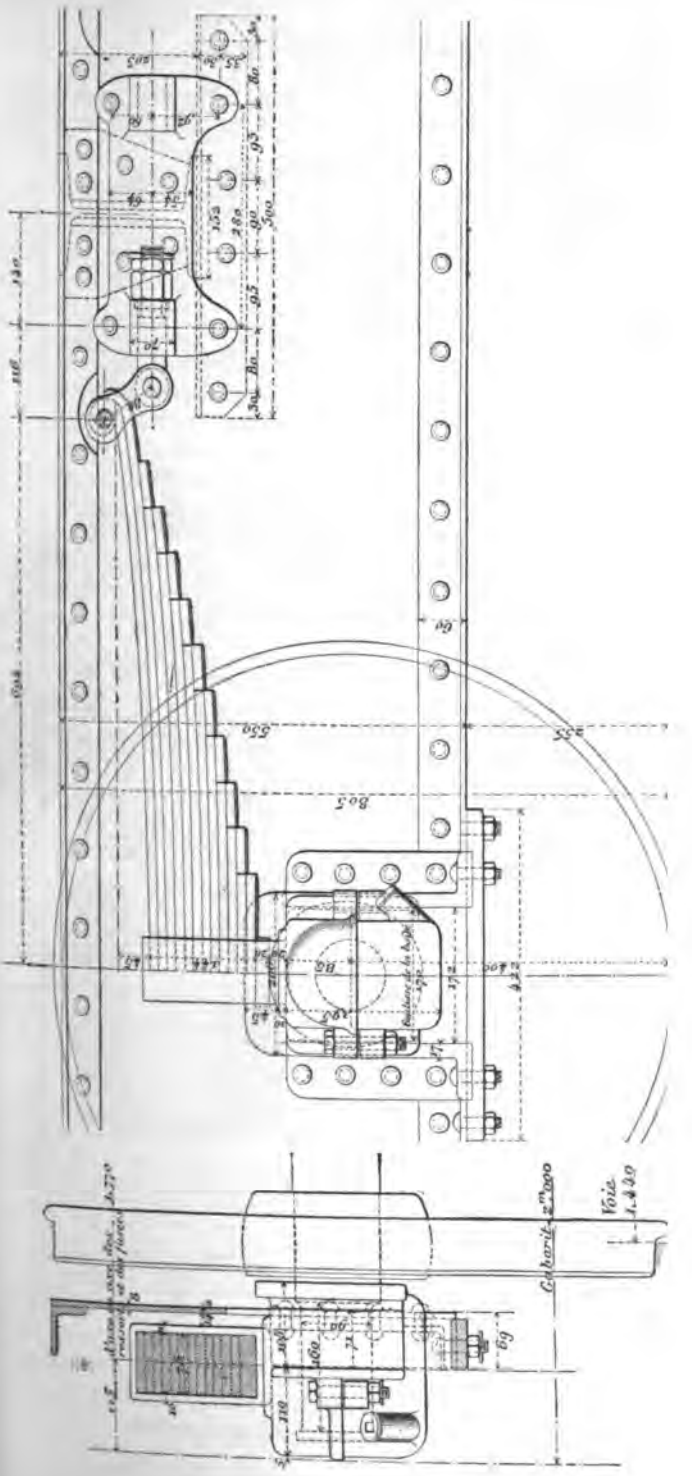
ure de Romainville.

caoutchouc ou même sans in
igerons du châssis s'étendent
gueur du véhicule et les port
le supports aux plates-formes.

otamment les voitures du premier
les de Clermont-Ferrand, dont le
ième système a été suivi dans la
arseille[1], de Toulon, de Paris-

d'une de ces dernières, qui sort
es, *David et Cie*). Les longerons
autes dans la partie médiane, alors
ies au moyen de traverses en acier

*achines*, novembre 1893, pl. 12.




Digitized by Google

l'écartement des essieux est maintenu par des glissières et entretoises rivées et boulonnées sur ces longerons. La suspension du châssis sur les boîtes à

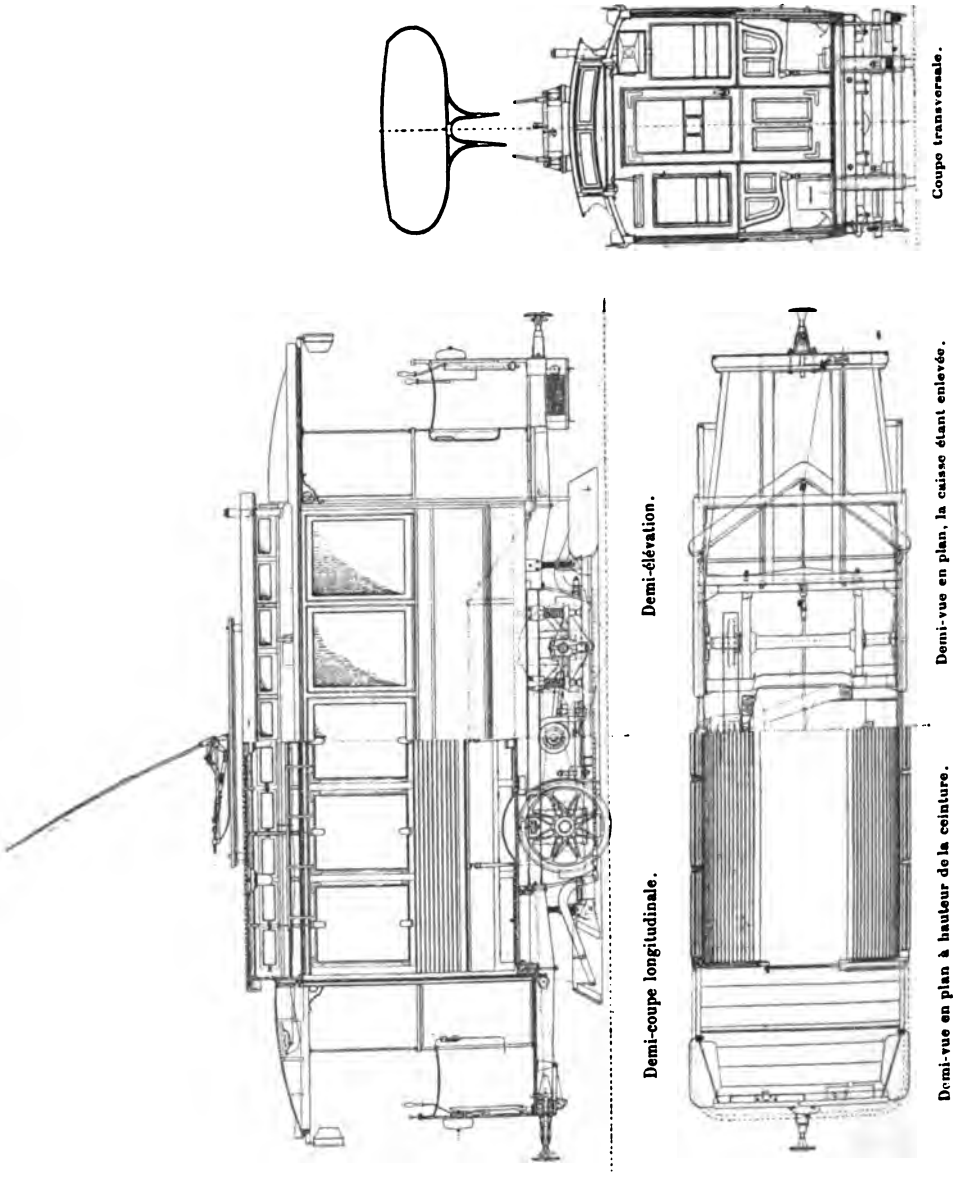



Fig. 243. — Voiture de Bâle.

graisse, dont le détail se voit sur la figure 242, est réalisée au moyen de ressorts à lames dont les extrémités sont attachées aux longerons par l'intermédiaire de menottes. La caisse repose rigidement sur ce châssis.

Digitized by Google

Les premières voitures électriques équipées à l'étranger par les maisons *Siemens*, *Schuckert*, *Ganz*, *d'Oerlikon*, etc., n'avaient de même qu'une suspension très imparfaite.

Ainsi, la caisse des anciennes voitures de Budapest repose par l'intermédiaire de tampons en caoutchouc sur deux longerons en fer à I de section uniforme, régnant d'un bout du véhicule à l'autre et sur lesquels sont rivées les plaques de garde ; des ressorts à boudin, disposés par paire, transmettent la charge aux boîtes à huile, qui sont reliées à leur partie inférieure par des barres longitudinales, comme on le voit sur la fig. 73, page 108.

On trouve des dispositions analogues dans les voitures équipées par la maison Siemens et Halske pour Hanovre, Dresde, Mulhouse et plus récemment pour Bâle, dans celles construites par Ganz et Cie pour Presbourg et Neupest, etc. Nous donnons ci-contre (fig. 243) les dessins d'ensemble de la voiture de Bâle, qui ne diffère guère de celles de Budapest qu'en ce que les longerons du châssis s'étendent ici sur une longueur à peine supérieure à l'écartement des essieux.

Citons enfin, toujours dans le même ordre d'idées, les voitures de Zwickau, équipées par la maison Schuckert et dont le truck est représenté par la figure 244, et celles très analogues de Toulon, exécutées par MM. Desouches et David sur les plans de la même maison.

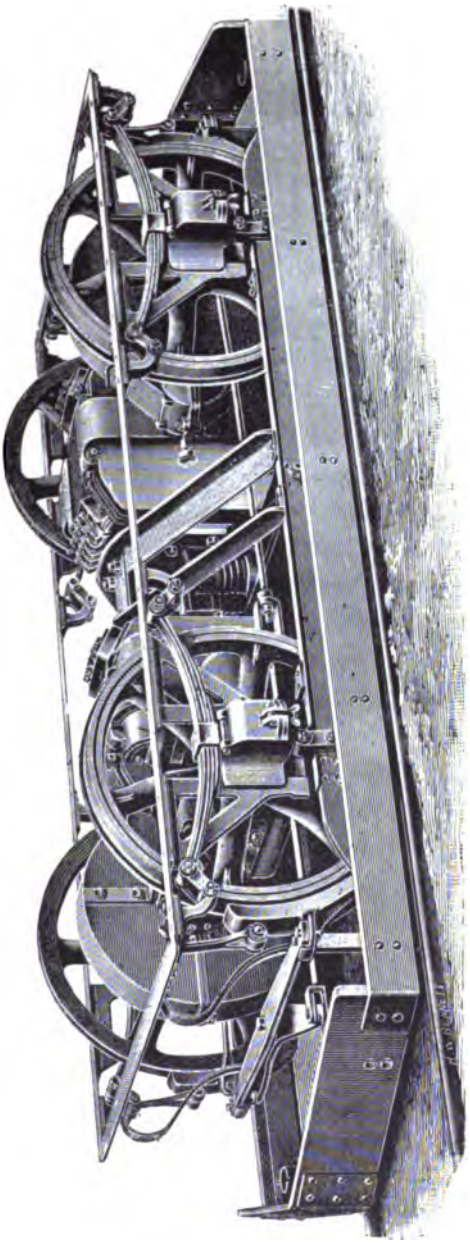
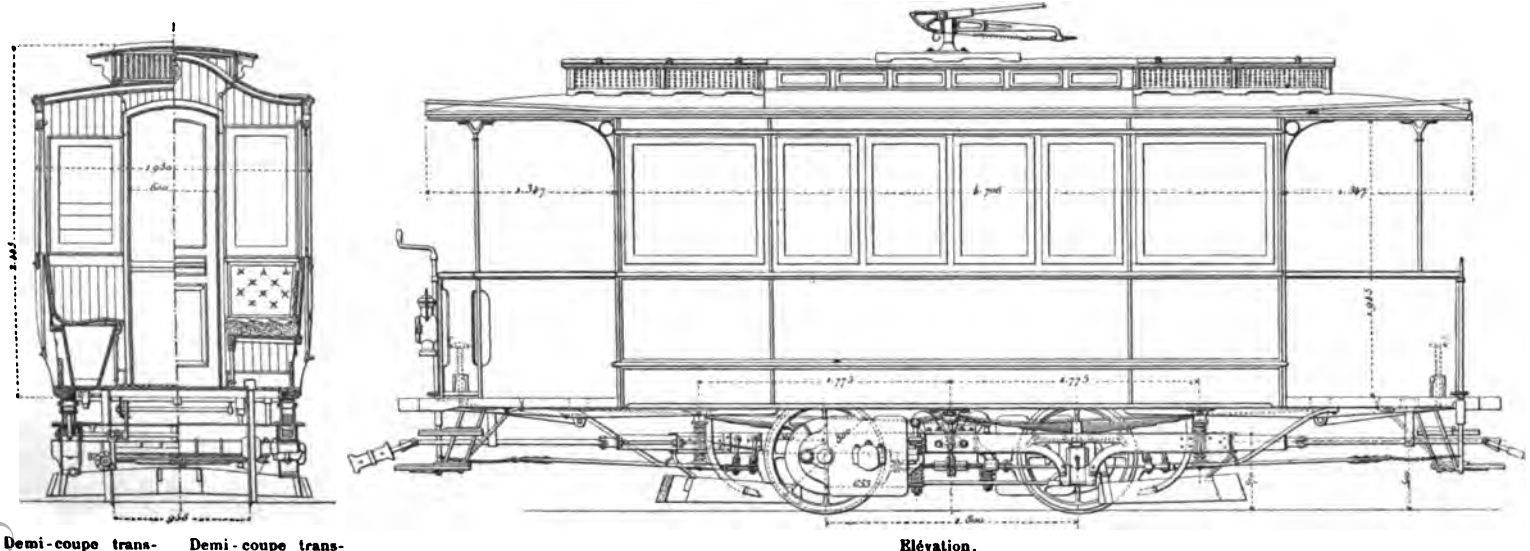


Fig. 244. — Truck des voitures de Zwickau.

Digitized by Google



Demi-coupe transversale sur une plate-forme fermée.

Demi-coupe transversale sur le compartiment de première classe.

Elévation.

Fig. 245. — Voiture de Lyon-Ecully.

Digitized by Google

Nous avons suffisamment fait ressortir déjà les avantages d'une

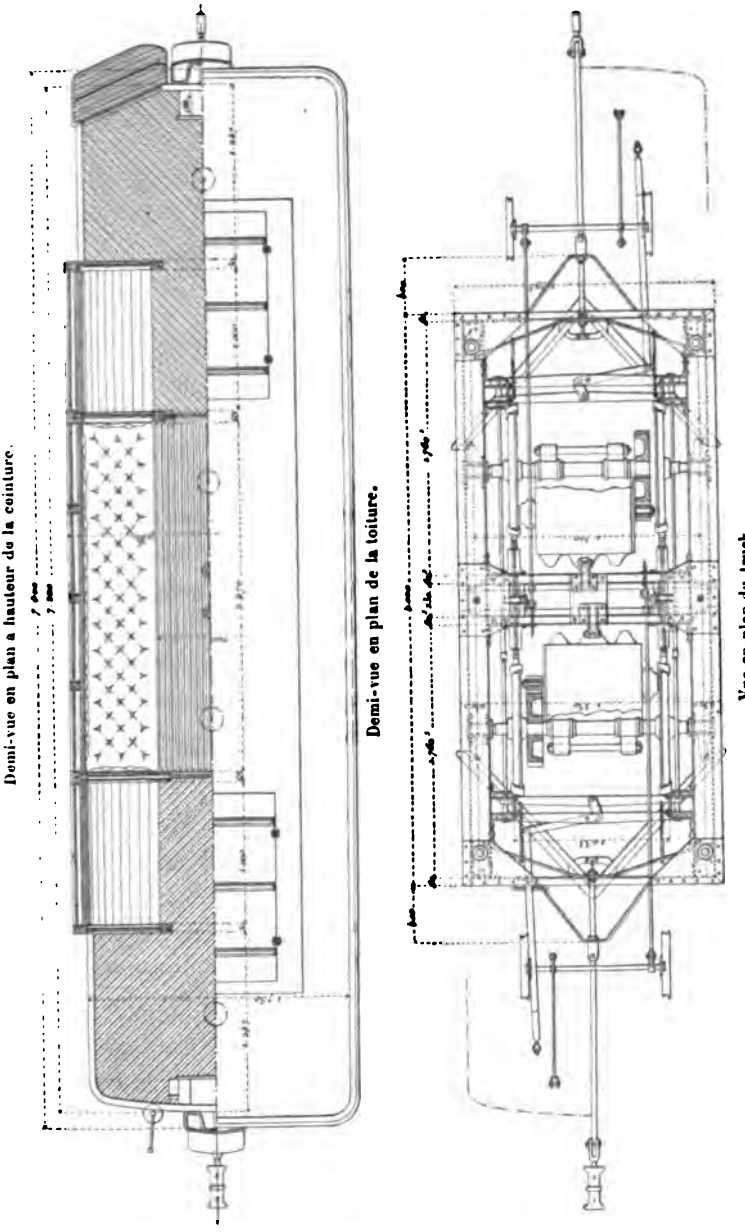



Fig. 245. — Voiture de Lyon-Ecully.

suspension perfectionnée pour n'avoir pas besoin d'insister encore sur le vice capital de tous les dispositifs qui font ainsi reposer



Digitized by Google

la caisse sur le châssis directement ou par l'intermédiaire de ressorts imparfaitement élastiques et qui ne combattent pas la tendance du véhicule au balancement. La pire conséquence de cette suspension défectueuse est d'accroître l'usure du matériel dans des proportions excessives. Si les défauts du système ne se sont pas fait sentir jusqu'ici d'une façon plus vive, cela tient à l'état généralement bon de nos voies de tramways ; mais l'expérience des autres pays est là pour prouver la supériorité du mode de construction américain. Il coûte peut-être un peu plus cher, mais cette infériorité est rachetée par une telle différence dans la douceur de la marche qu'aucune compagnie soucieuse du bien-être des voyageurs, ou même simplement de ses véritables intérêts, ne devrait hésiter un instant entre les deux systèmes.

D'ailleurs, à côté de la mauvaise suspension, il y a dans la plupart de ces anciens types de voiture une solidarité plus ou moins complète de la caisse et du châssis qui constitue une grosse gêne pour l'exploitation : cette solidarité ne permet pas, en effet, de substituer rapidement à un truck contenant un moteur avarié un autre ensemble en bon état, ni de monter à volonté sur le même truck une caisse ouverte ou une caisse fermée, suivant la saison, comme font certaines compagnies américaines. En cas de réparations aux organes électriques ou mécaniques, le véhicule tout entier se trouve immobilisé.

Un fait caractéristique, c'est que toutes les bonnes maisons européennes se sont mises aujourd'hui à fabriquer des trucks moteurs indépendants pour tramways électriques, qui sont plus ou moins calqués sur les types dont l'expérience a consacré la valeur en Amérique. Ces trucks sont tous à double suspension ; ils donnent au véhicule une base d'appui élastique étendue ; en outre, des ressorts amortisseurs spéciaux servent à combattre les inconvénients du galop qui tend à se produire dans les voitures à essieux rapprochés.

Un des premiers exemples de ce mode de construction perfectionné a été donné en France par les voitures du tramway de Lyon à Ecully, qui sortent des *Chantiers de la Buire*. La figure 245, qui représente l'ensemble d'une de ces voitures, donne une bonne idée des dispositions du truck.

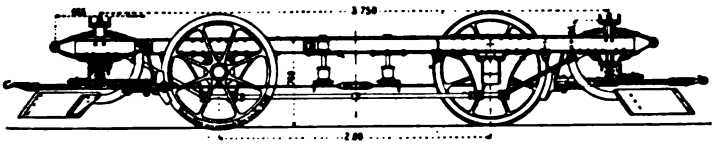
La figure 246 montre un type de truck moteur très employé actuellement et

Digitized by Google

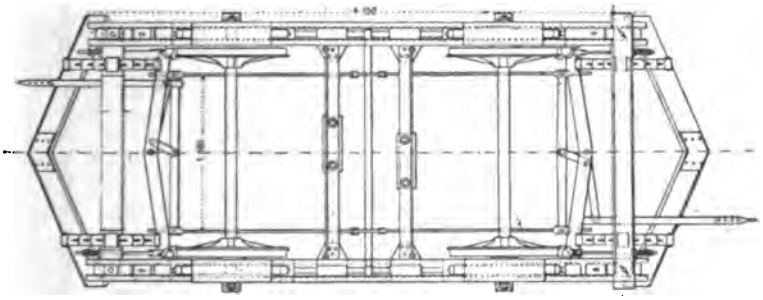
qui est dérivé du truck Taylor. Comme on le voit, les longerons du châssis sont constitués par deux fers en ] légèrement écartés l'un de l'autre pour recevoir les ressorts à lames et solidement maintenus ensemble. Ces longerons sont armés à l'aide de tubes d'acier passant au-dessous des plaques de garde.

C'est sur des trucks de ce genre que sont montées les voitures des lignes de Lyon-Oullins, du Havre, de Rouen, de Roubaix-Tourcoing, de Belgrade, etc. Ils sont construits notamment par la *Société des Etablissements Postel-Vinay*, pour le compte de la Compagnie Thomson-Houston, et par la *Société Franco-Belge pour la Construction de Matériels de Chemins de fer*.

La première établit ses trucks pour deux largeurs de voie, 1 m. et 1,44 m.;



Elévation.



Plan.

Fig. 246. — Truck genre Taylor.

la distance entre les axes des ressorts de suspension extrêmes est, dans les deux cas, de 3,40 m. (pour un écartement d'essieux de 1,80 m.); les poids des deux modèles sont de 2 500 kg. et 2 700 kg. respectivement.

La seconde a exécuté en particulier les trucks genre Taylor du tramway de Roubaix-Tourcoing; ces trucks, à voie d'un mètre, pèsent 1 675 kg.[1] sans moteur; leur prix est de 1 200 fr.

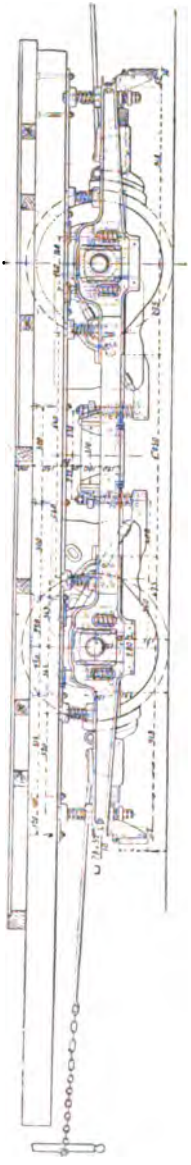
Cette dernière société a également construit un assez grand nombre d'autres modèles dont nous croyons intéressant de donner des exemples.

[1] Ce poids se décompose ainsi :

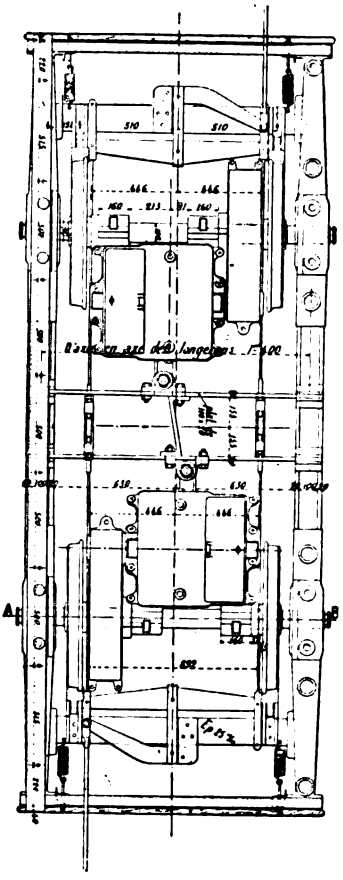
| | |
|---|---|
| Roulement | 650 000 kg. |
| Graissage | 66 000 — |
| Suspension | 98 610 — |
| Châssis | 642 440 — |
| Frein | 165 350 — |
| Suspension du moteur | 50 900 — |
| Total | 1 673 300 kg. |

Digitized by Google

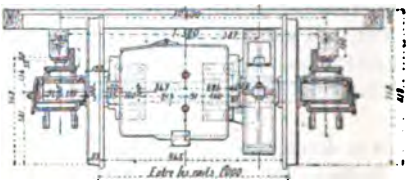
La figure 247 représente un truck à voie de 1 m. dont les longerons sont constitués, à peu près comme ceux du truck Bemis, par deux pièces de fonte



Elévation.



Plan.



Coupe transversale.

Fig. 247. — Truck pour voie d'un mètre de la Société Franco-Belge.

réunies par des barres plates ; ces pièces forment plaques de garde et servent en même temps de support aux ressorts de suspension de la caisse.

Digitized by Google

La construction des trucks représentés par les figures 248 et 249 est plus originale. Le châssis du premier (fig. 248) comporte des longerons en forme de

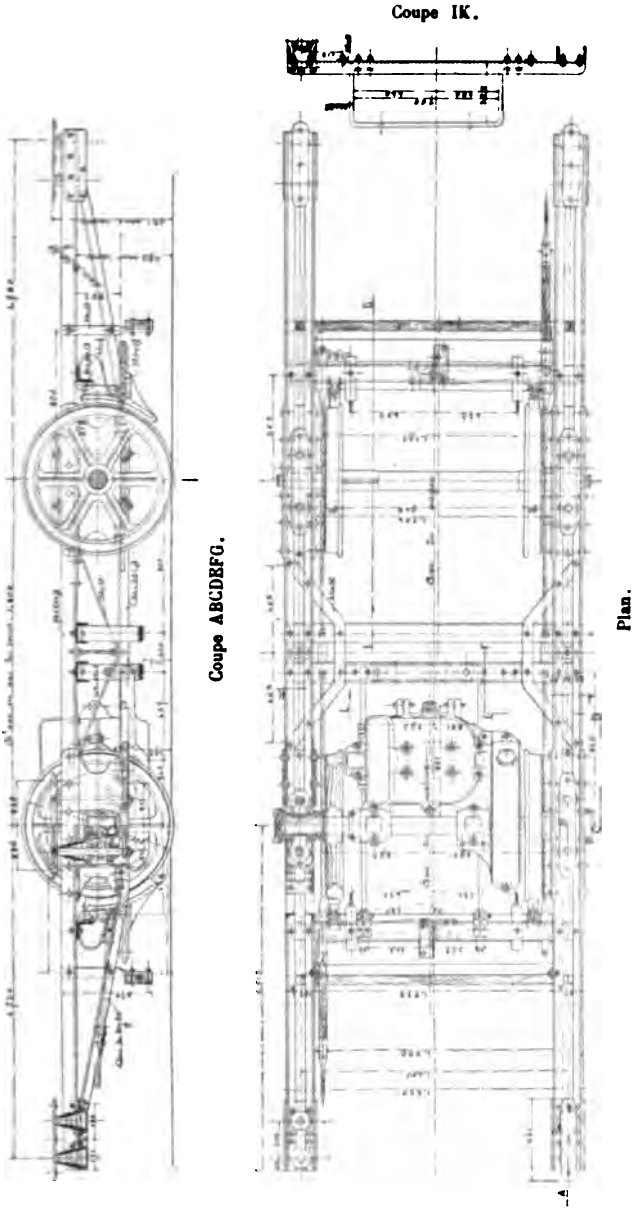



Fig. 248. — Autre truck de la Société Franco-Belge.

poutre à consoles, composés de cornières en acier rivées entre elles. Des plaques de garde en fonte malléable rivées sur ces longerons supportent la caisse

Digitized by Google

par l'intermédiaire de ressorts formés par l'enroulement en spirale d'une feuille d'acier, et reportent tout le poids sur les oreilles des boîtes à huile au

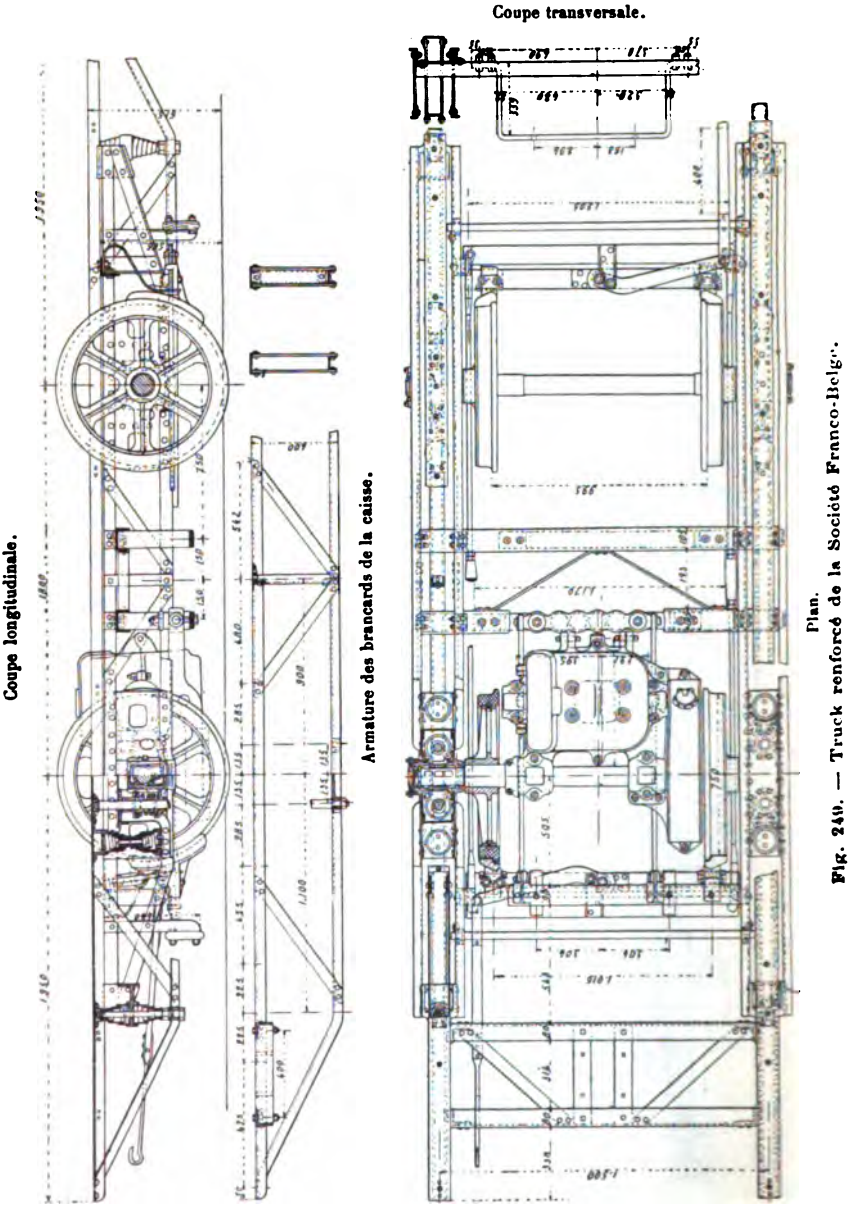



Fig. 240. — Truck renforcé de la Société Franco-Belge.

moyen d'autres ressorts en spirale placés dans l'axe des premiers. Une troisième série de ressorts, disposés aux extrémités du châssis, sert à amortir les mouvements de tangage de la caisse.

Digitized by Google

Ce truck, à voie de 1 m., pèse 2 540 kg. et coûte 2 200 fr.

La figure 249 représente un truck du même genre, mais destiné à une voiture à banquettes transversales. Cette disposition de sièges ne permettant pas, avec la voie de 1 m., d'armer les brancards de la caisse par-dessus comme à l'ordinaire, en dissimulant les armatures sous les banquettes ou dans les parois, on a remplacé les semelles simples qui supportent ordinairement la caisse par de véritables poutres armées, distinctes du châssis proprement dit. Par suite de ce renforcement, le truck atteint le poids relativement considérable de 3 145 kg.; son prix est de 2 100 fr.

On trouvera plus loin, sur les dessins d'ensemble de voitures, quelques autres modèles de trucks, notamment le truck à double suspension avec ressorts à lames construit par la maison *Desouches et David* pour les nouvelles lignes à accumulateurs de la Madeleine à Neuilly et à Levallois (fig. 338, p. 381), le truck à longerons en tôle emboutie de la *Société alsacienne de Constructions mécaniques*, qui construit en France le matériel Siemens et Halske (fig. 308 et 309), le truck actuellement employé par la Société *Schuckert* (fig. 310); ces deux derniers présentent une analogie frappante avec le truck McGuire décrit plus haut.

Le parallélisme des essieux, qui caractérise tous ces types de truck, a, comme nous l'avons rappelé en commençant, l'inconvénient de limiter beaucoup le rapport de l'écartement des roues à la longueur totale du véhicule, ce qui augmente d'une façon fâcheuse la tendance au tangage. En outre, même avec un faible écartement, le passage des courbes raides exige toujours un supplément très sensible de travail moteur, en même temps qu'il use excessivement le boudin des roues et le contre-rail.

On s'est donc trouvé naturellement amené à rechercher les dispositions qui, en rendant possible la convergence des essieux, permettent d'accroître sans inconvénient la base d'appui du véhicule.

De pareilles dispositions s'imposent dès qu'on adopte des voitures plus grandes que les voitures ordinaires. Une longueur de 5,50 m. pour la caisse proprement dite et une longueur totale hors tampons de 8 ou 9 m. sont à peu près le maximum des dimensions qu'on puisse raisonnablement admettre pour un véhicule à deux essieux parallèles, même en portant l'écartement à 2,50 m. Encore faut-il, dans ces conditions, faire la charpente exceptionnellement robuste pour empêcher les plates-formes de fléchir sous la charge et est-il presque impossible d'éviter les oscillations longitudinales aux grandes vitesses. Il y a cependant des cas où

Digitized by Google

la nature du trafic oblige à donner aux voitures des dimensions plus grandes. On doit alors nécessairement augmenter l'écartement ou le nombre des essieux, qui ne peuvent plus rester rigides.

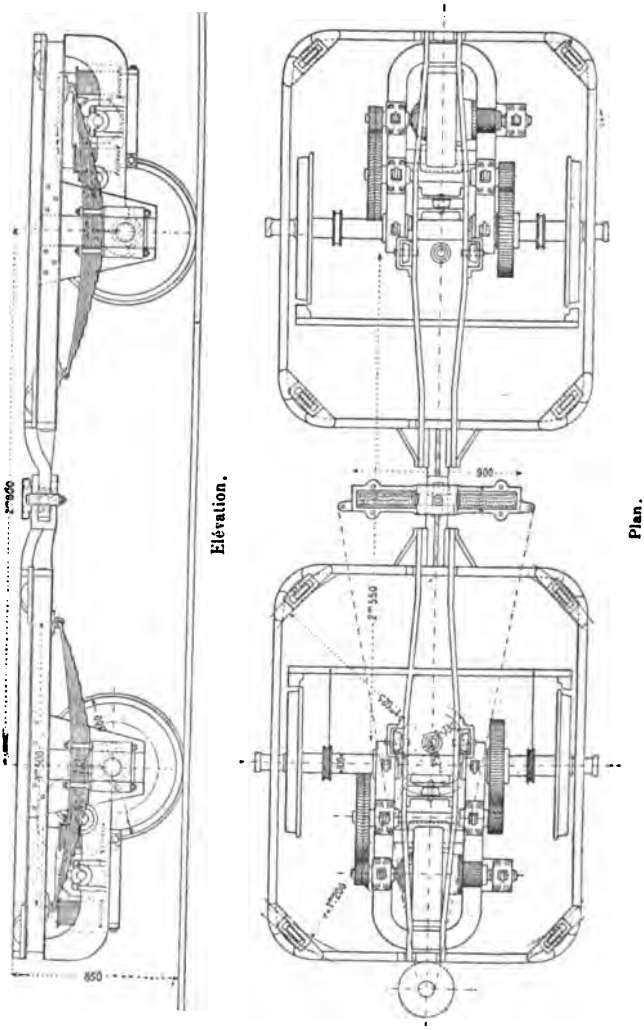



Fig. 250. — Truck articulé des voitures de la Cie des tramways de Paris et du département de la Seine.

Il existe un grand nombre de dispositions ayant pour but de faciliter la circulation en courbe des véhicules à grand empattement. Nous nous bornerons à signaler celles qui sont applicables aux voitures électriques.

En classant ces systèmes d'après le nombre des essieux, on trouve d'abord la disposition à deux essieux convergents.

Digitized by Google

**Trucks à deux essieux convergents.** — On peut faire reposer la caisse sur deux trucks à un essieu à châssis indépendant, mobiles autour de chevilles ouvrières. Un chemin de roulement est alors nécessaire pour maintenir le parallélisme du châssis et de

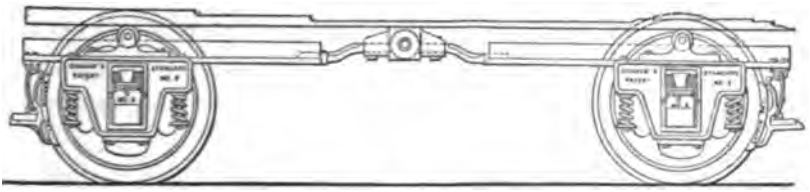


Fig. 251. — Truck Graham. — Elévation.

la caisse ; en outre, un mécanisme de rappel, composé le plus souvent d'un ressort, sert à ramener les essieux à leur position normale après le passage des courbes.

Des voitures de ce type sont en service sur les lignes à accumulateurs Madeleine-Saint-Denis, Opéra-Saint-Denis et Neuilly-Saint-Denis (Compagnie des tramways de Paris et du département de la Seine). Les deux trucks, sur lesquels la caisse porte par l'intermédiaire d'une crapaudine et de galets disposés aux angles des châssis, sont reliés entre eux par une articulation prise entre deux ressorts à action opposée (fig. 250). L'espacement des essieux est de 2,80 m. Ces trucks ont été construits par la maison *Averly*, de Lyon. Chacun d'eux pèse 850 kg. sans moteur et 1 850 kg. avec moteur ; le prix d'un truck complet est de 3 600 fr.

Les figures 251 et 252 représentent une disposition américaine du même genre, le truck *Graham*.

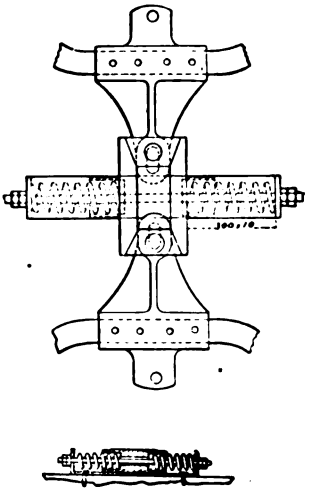
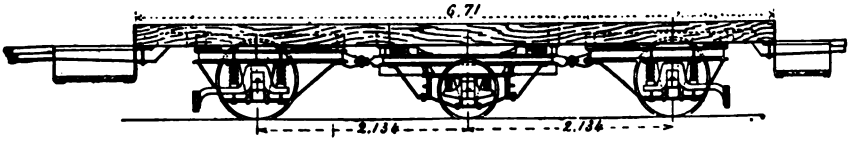


Fig. 252. — Truck Graham. — Plan et coupe longitudinale des ressorts de rappel.

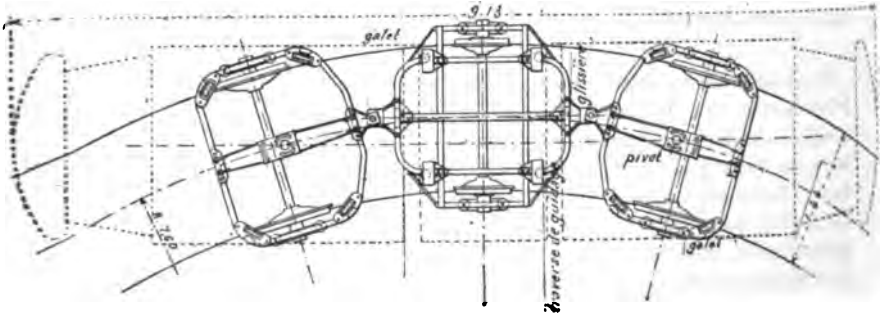
D'autres systèmes rentrant dans la même catégorie seraient également applicables aux voitures électriques, notamment le dispositif *de Rechter*, dans lequel la charge repose sur chacun des châssis par trois points et par l'intermédiaire de menottes de suspension normalement verticales, qui permettent le déplacement de l'essieu lors du passage en courbe et font ensuite l'office de mécanisme de rappel.

Digitized by Google

**Trucks à trois essieux.** — Comme dérivé des dispositifs à deux essieux convergents, nous trouvons le système généralement connu sous le nom de système *Cleminson*, qui comporte trois essieux par véhicule ; chacun d'eux est muni d'un châssis séparé ; les deux extrêmes sont liés à la voiture par une cheville, autour de laquelle ils sont libres de pivoter ; celui du milieu, qui est articulé avec les deux autres, est libre de glisser sous la caisse, de manière à pouvoir se déplacer transversalement au passage des




Elévation.




Plan.

Fig. 253. — Truck Robinson. — Ensemble.

courbes, tandis que les essieux extrêmes prennent la position radiale.

Ce système a été appliqué à la traction électrique. Les figures 253 et 254 sont relatives à un modèle de truck électrique à trois essieux assez répandu en Amérique, le truck « radial » de *Robinson*. On voit sur la figure, qui montre l'ensemble de ce truck, que le châssis intermédiaire, plus bas que les autres, peut glisser transversalement sous la caisse, dont le poids repose en majeure partie sur les essieux extrêmes. Ce sont ces derniers qui portent les moteurs. La figure 254 montre les détails de construction des châssis : ils sont constitués par des barres d'acier laminé, rivées ensemble, et reposent sur les boites à huile par l'intermédiaire de ressorts à boudin. Dans le modèle représenté, l'écartement des essieux extrêmes est de 4,25 m.

Nous citerons également le truck à deux essieux convergents et un essieu

Digitized by Google

directeur construit par la maison *Garnier* pour la Compagnie générale des Omnibus de Paris, à l'occasion des essais de traction par accumulateurs effectués par celle-ci en 1893. Comme on le voit sur la figure 255, le châssis de la voiture est supporté par trois trucks indépendants, dont les deux extrêmes ont chacun un essieu moteur et l'autre un essieu simplement porteur. Les deux pre-

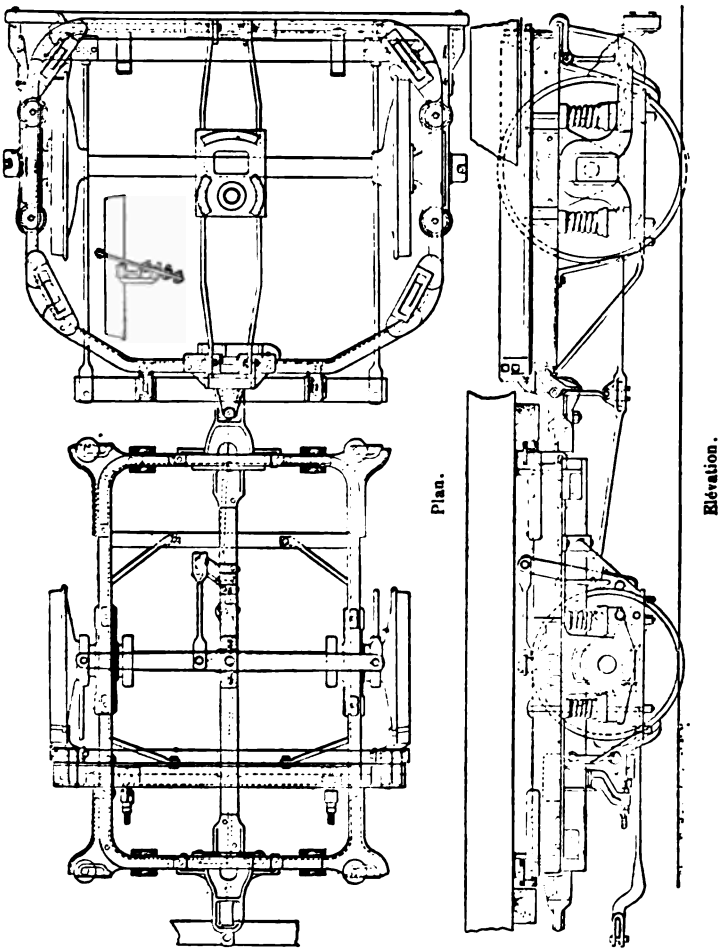
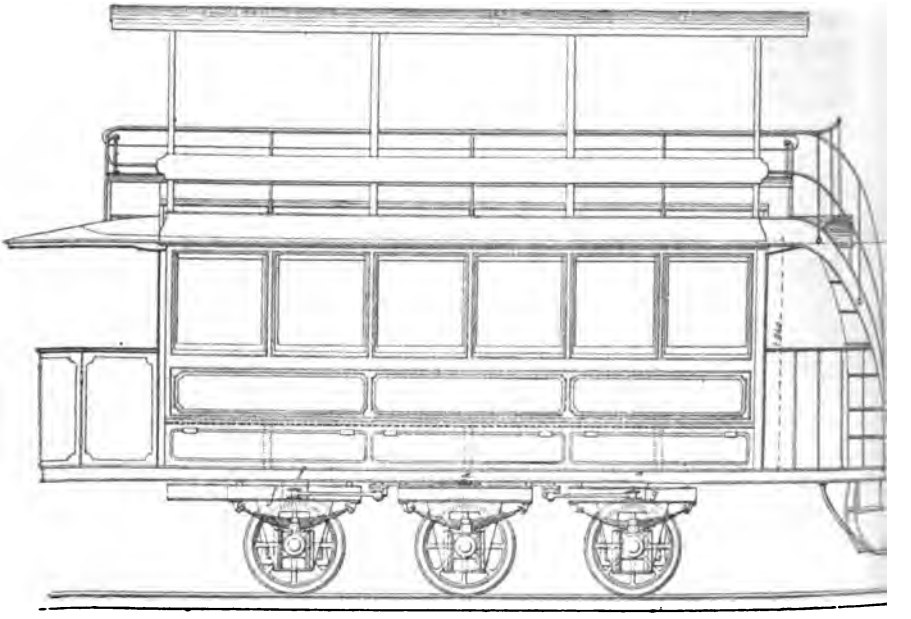



Fig. 254. — Truck Robinson. — Détails.

miers pivotent autour des chevilles ouvrières *f* et *g* ; ils sont reliés au troisième par des parallélogrammes articulés *dBd* et *eCe*, portant des flèches A et A' dont les têtes à rainure oscillent autour du bouton d'articulation *a* fixé par une traverse au châssis central ; ce dernier peut ainsi se déplacer suivant son axe d'une quantité égale à la flèche d'empattement. L'écartement des pivots est de 2,80 m. et la longueur totale du châssis de la voiture de 7,62 m. sous tampons.

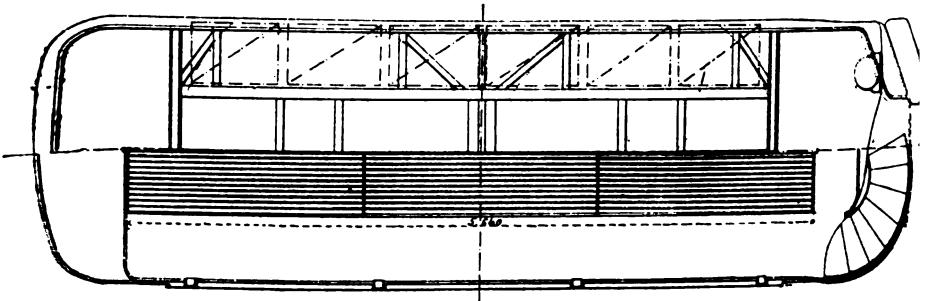
Les trucks à trois essieux ont l'inconvénient de dérailler assez

Digitized by Google

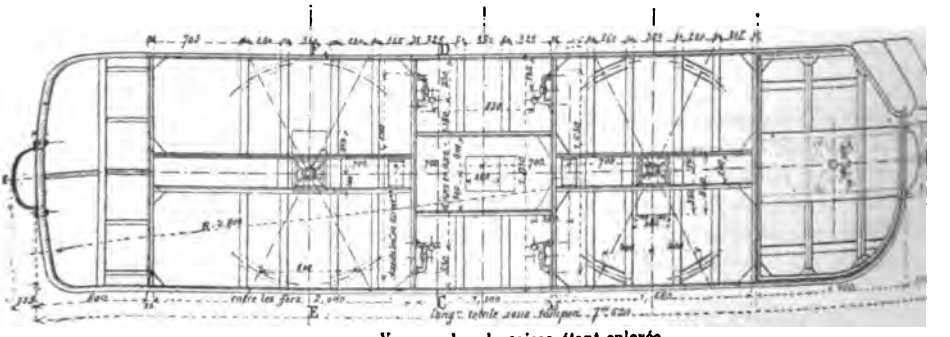


Elévation de la voiture.

Demi-vue en plan de la charpente inférieure de la caisse.



Demi-vue en plan, la toiture de l'impériale étant enlevée.



Vue en plan, la caisse étant enlevée.

Fig. 255. — Voiture à accumulateurs de la Cie Générale des Omnibus (1893).

Digitized by Google

facilement au passage des courbes, surtout lorsqu'elles sont immédiatement suivies d'une contre-courbe [1]. En outre, ils ne peuvent guère porter de voitures mesurant plus de 9 m. de longueur totale.

**Trucks articulés ou bogies.** — Avec des caisses plus longues, telles que celles employées sur certains tramways américains où les voitures mesurent jusqu'à 10 et 12 m. de longueur, il devient indispensable d'augmenter le nombre des essieux. On adopte alors le matériel dit à double truck, à trucks articulés ou à bogies, c'est-à-dire qu'on fait porter la caisse à chacune de ses extrémités sur un truck court à deux essieux rigides, pouvant

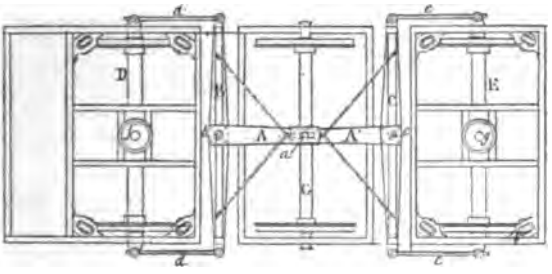


Fig. 255. — Voiture à accumulateurs de la Cie Gle des Omnibus. Vue en plan des trucks.

s'inscrire facilement dans les courbes et mobile autour d'une cheville ouvrière fixée dans l'axe du véhicule. Ce système, dérivé de celui qui est employé d'une manière générale pour le matériel des chemins de fer aux Etats-Unis, offre toutes garanties pour la circulation en courbe et pour la stabilité aux grandes vitesses; mais il augmente assez notablement le poids mort du véhicule.

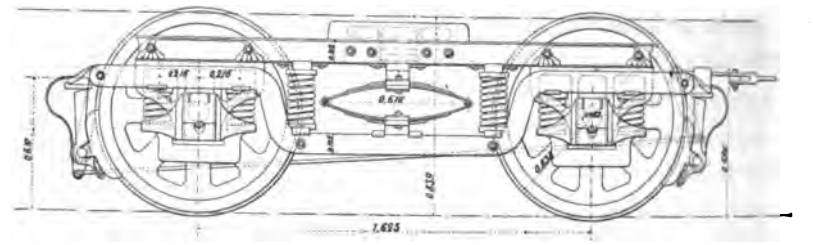
Le truck articulé des chemins de fer n'a pu s'adapter sans changement aux automobiles de tramways électriques. Il a fallu réserver la place du ou des moteurs, tout en rapprochant les essieux en raison du rayon plus faible des courbes, diminuer la hauteur du truck pour faciliter l'accès de la voiture, et, dans certains cas, excentrer le point de support de la caisse de façon à utiliser la plus

[1] En effet, c'est le déplacement transversal de l'essieu intermédiaire qui détermine la radialité des deux essieux extrêmes; le mouvement radial ne peut se produire que quand cet essieu intermédiaire est lui-même dans la courbe et il est contrarié tant que les trois essieux n'y sont pas.

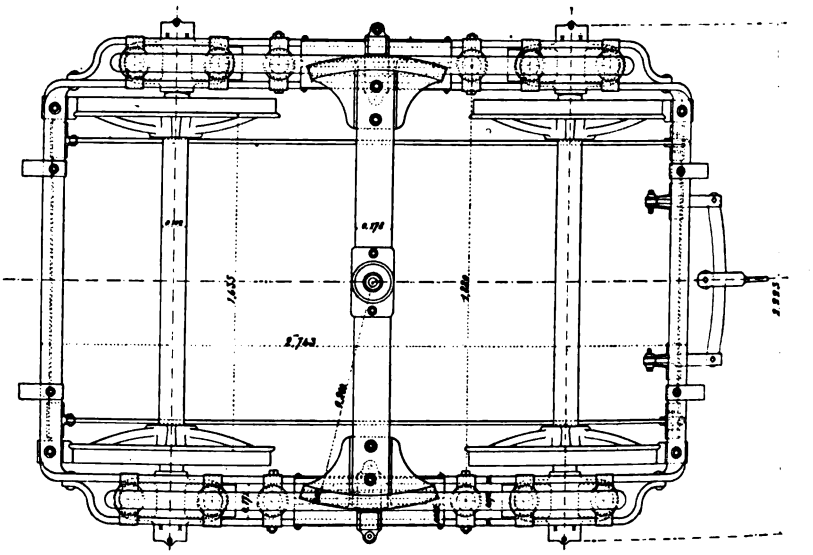
Digitized by Google

grande partie possible de son poids pour l'adhérence sans cependant employer plus d'un moteur par truck.

La figure 256 montre un exemple de bogie pour voitures de tramways. Comme dans tous les bogies américains, la charge est reportée sur les boîtes à



Elévation.



Plan.

Fig. 256. — Truck articulé McGuire.

graisse par deux balanciers latéraux ; mais les extrémités de ces balanciers ne reposent pas directement sur les boîtes : elles en sont séparées par des ressorts. Les balanciers sont composés de deux barres plates légèrement écartées l'une de l'autre, entre lesquelles jouent les plaques de garde et dont l'une se retourne à ses deux extrémités de manière à former un cadre complet autour du truck. Sur ce cadre sont montés, avec interposition de 4 paires de ressorts, dont 2 à lames et 2 en spirale, les longerons du châssis, reliés par une forte traverse qui porte en son milieu la crapaudine destinée à recevoir la cheville ouvrière et, par son intermédiaire, toute la charge que doit supporter le truck. La crapau-

Digitized by Google

dine étant placée au centre de figure du châssis, chacune des 4 roues porte une égale fraction du poids. Les moteurs sont supportés par des traverses (non représentées sur la figure) qui s'appuient sur les balanciers ; ils sont par suite indépendants des ressorts de suspension du châssis. Ce truck pèse 2 300 kg. et coûte, en Amérique, 1 000 fr.

Certains trucks articulés, au lieu de comprendre un point d'articulation matériel au centre du châssis, sont complètement ouverts, pour faciliter l'accès des moteurs; la caisse porte alors simplement par l'intermédiaire de galets sur des chemins de roulement en forme d'arc de cercle ayant pour centre le point réel d'articulation.

Les bogies employés sur les tramways à grande vitesse se rapprochent en général beaucoup des trucks de chemins de fer. Ainsi le type construit par la *Fulton Truck and Foundry Co* et qui est représenté par la figure 257 offre tous les traits caractéristiques du truck ordinaire à 4 roues des wagons à voyageurs américains : balanciers latéraux appuyés directement sur les boîtes à

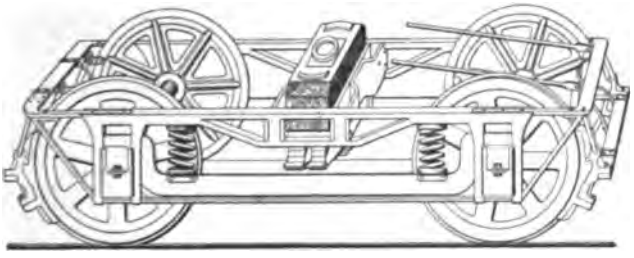


Fig. 257. — Truck articulé de la Fulton Company.

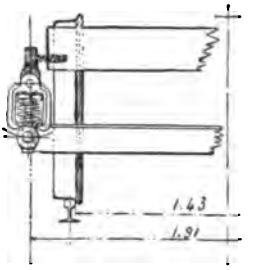
graisse et supportant le châssis par des ressorts à boudin ; menottes inclinées attachées à ce châssis et recevant par l'intermédiaire de deux garnitures de ressorts elliptiques doubles la charge du sommier qui porte la crapaudine. Le truck peut ainsi, non seulement pivoter sous la caisse, mais encore se déplacer transversalement dans une certaine mesure par rapport à son pivot.

Dans d'autres types, tels que le truck articulé *Peckham*, le « Diamond » double truck, etc., deux ressorts elliptiques fixés par des étriers aux extrémités du sommier reportent la charge sur les longerons, qui sont eux-mêmes suspendus élastiquement sur les boîtes à graisse.

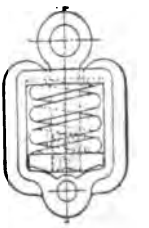
Les voitures qui circulent à la fois sur des voies de tramways noyées dans la chaussée et sur des voies en accotement ou sur plate-forme séparée ont une tendance particulière à dérailler, principalement au passage des courbes, dès que leur vitesse est un peu grande, par suite des faibles dimensions du boudin de leurs roues. On s'efforce de combattre cette tendance en donnant aux bogies la plus grande flexibilité possible. A ce point de vue, le truck articulé *Brill* (fig. 258) offre de sérieux avantages. Il comporte des longerons d'une seule pièce en acier coulé, réunis par 2 traverses extrêmes et 2 entretoises intermédiaires, et reposant sur les boîtes à graisse par l'intermédiaire de ressorts à boudin; des balanciers d'un modèle spécial, faisant corps avec une traverse qui porte sur 2 ou 3 paires de doubles ressorts à lames le sommier et sa crapaudine,

Digitized by Google

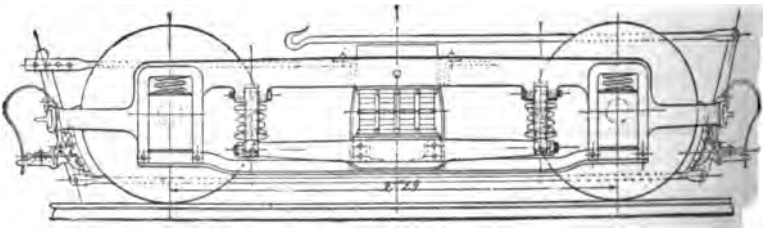
sont suspendus aux longerons par des étriers à ressort placés à leurs extrémités. Ce truck présente ainsi 3 groupes de ressorts, placés en série, qui concourent à amortir les chocs produits par les inégalités de la voie ; les ressorts logés dans les étriers de suspension des balanciers atténuent en outre les chocs latéraux résultant des mouvements de lacet ou du passage dans les courbes plus que ne peuvent le faire les menottes rigides supportant la traverse oscillante des bogies ordinaires. Enfin le mode de construction du truck a pour effet de reporter la charge tout près des boîtes à graisse et par suite de combattre la




Demi-coupe transversale.



Etrier à ressort.



Elévation.

Fig. 258. — Truck articulé Brill.

tendance des roues au soulèvement. Ces trucks sont employés notamment sur la ligne d'Akron, Bedford and Cleveland, où ils portent des voitures de 8,85 m. de longueur de caisse et 11,30 m. de longueur totale, pesant 15,5 t. à vide.

Les voitures à bogies pour tramways sont généralement équipées avec deux moteurs seulement, soit qu'on en monte un sur chacun des deux trucks, soit qu'on réunisse les deux moteurs sur le même truck. Cet équipement suffit pour les lignes à faibles déclivités, comme nous l'avons dit au chapitre IV.

Mais lorsque la ligne comporte des rampes un peu fortes, il faut nécessairement augmenter l'adhérence. Pour arriver à ce résultat, en conservant toujours l'égale répartition de la charge entre les huit roues, on peut, soit monter un moteur supplémentaire sur chacun des essieux libres, ce qui porte à quatre le nombre des

Digitized by Google

moteurs, soit actionner par le même moteur les deux essieux de chaque truck. La première disposition a l'inconvénient d'augmenter le nombre des moteurs [1]. On obtient un résultat à peu près équivalent, avec un seul essieu moteur par truck, en excentrant le pivot de façon à faire porter la plus grande partie du poids sur cet essieu moteur. Telle est l'origine des trucks dits « à adhérence maxima », dont les figures 259 et 260 donnent un exemple.

Dans le type représenté, le centre d'articulation est placé à très peu près sur l'axe de l'essieu moteur. Les roues motrices reçoivent ainsi la majeure partie

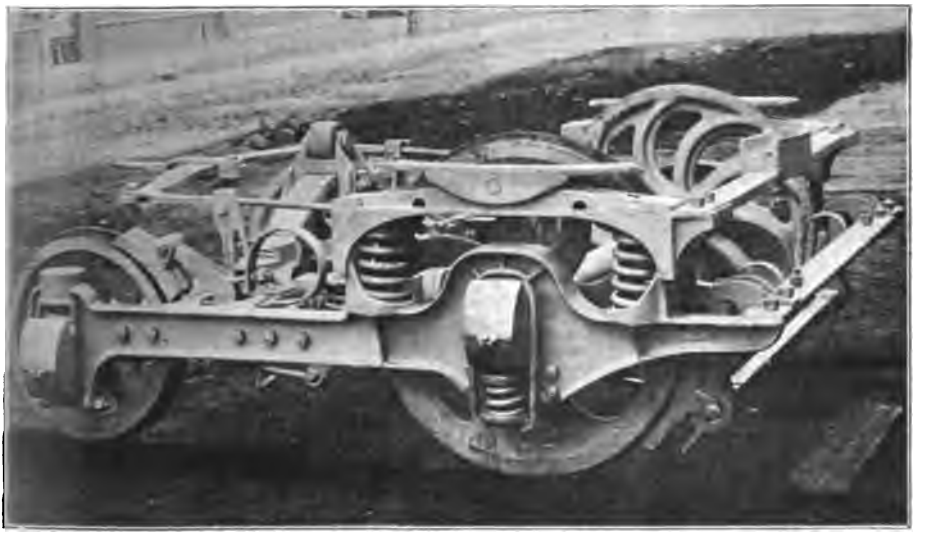


Fig. 259. — Truck McGuire à adhérence maxima. — Vue d'ensemble.

de la charge, les petites roues n'ayant que le rôle de directrices. Ces dernières ont un diamètre de 0,30 à 0,35 m. inférieur à celui des roues motrices, ce qui leur permet de jouer librement sous les brancards de la caisse sans qu'on soit obligé d'élever ceux-ci d'une manière exagérée; les roues motrices, n'ayant qu'une amplitude de mouvement très limitée, peuvent être placées à l'intérieur des brancards. Pour rendre le moteur plus facilement accessible, on a sup-

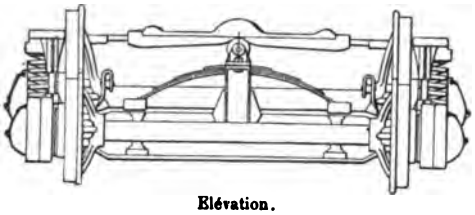
[1] Certaines compagnies américaines, qui possèdent un double jeu de caisses, fermées pour l'hiver, ouvertes pour l'été, emploient la combinaison suivante : l'été, elles montent leurs caisses sur un bogie à deux moteurs et un autre sans moteur; l'hiver, où l'on a besoin d'un poids adhérent plus fort, les voitures sont montées sur deux bogies à deux moteurs chacun, dont l'un est emprunté aux voitures ouvertes alors inutilisées. Les dépenses de premier établissement sont ainsi réduites au minimum.



Digitized by Google

primé le point d'articulation matériel et la caisse porte seulement sur ses chemins de roulement.

Cette forme de truck permet d'utiliser pour l'adhérence 80 à 85 p. 100 du poids total de la voiture. Il est prudent de laisser toujours une certaine charge sur les roues directrices, pour éviter que, par suite de la réaction de la roue d'engrenage sur le pignon du moteur, la carcasse de celui-ci, qui est reliée au truck, ne tende à soulever l'essieu libre et n'occasionne un déraillement. C'est surtout en courbe que cet accident est à craindre, et, pour l'éviter plus sûrement, on a muni le truck ci-dessus d'un perfectionnement ingénieux, ayant pour effet de reporter automatiquement une partie plus grande de la charge sur les roues directrices au passage des courbes. Ce dispositif, qui se voit mieux sur la figure 260, consiste en un ressort à lames monté sur le châssis tout contre l'essieu directeur et portant en son milieu un galet maintenu par deux étriers; une double came fixée sous la caisse sert de chemin de roulement à ce galet, par l'intermédiaire duquel elle déprime le ressort dès que le truck se déplace dans un sens ou dans l'autre. Ce moyen permet de reporter 30 à 50 p. 100 du poids de la voiture sur les roues directrices dans les courbes.



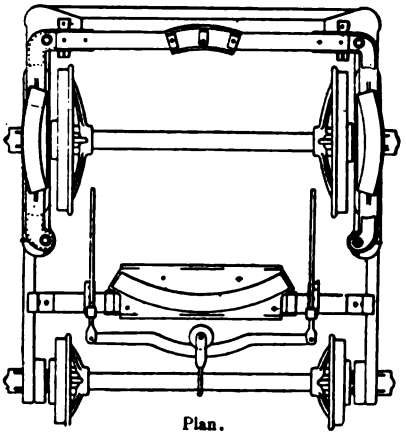




Fig. 260. — Plan et élévation du truck McGuire.

**Poids des trucks.** — Le poids des trucks d'automobiles électriques a sensiblement augmenté depuis l'origine. De 1 200 kg. au début, il est successivement passé à 1 500, 1 800, 2 000 kg et même davantage, par suite de l'augmentation de puissance des moteurs et de l'accroissement de capacité des voitures.

Nous avons résumé dans le tableau ci-dessous les poids d'un certain nombre de types employés, soit aux Etats-Unis, soit en Europe. Ces poids se rapportent au truck seul, sans moteurs ; pour avoir le poids du truck complètement équipé, il suffit d'ajouter aux chiffres du tableau 800 à 1 000 kg. ou 1 600 à 2 000 kg., suivant

Digitized by Google

le type des moteurs et suivant qu'on en met un ou deux par truck (moteurs de tramways ordinaires de 15-25 chev.).

TABLEAU DES POIDS DE TRUCKS DE TRAMWAYS ÉLECTRIQUES

| TYPE DE TRUCK ET NOM DU CONSTRUCTEUR | LARGEUR de la voie en mètres. | POIDS DU TRUCK sans moteurs en kilogr. |
|---|---|---|
| Brill n° 12 truck | 1,435 | 1 350 |
| Brill n° 13 truck | » | 1 700 |
| Brill n° 21 C truck | » | 2 200 |
| McGuire A 1 suspension truck | » | 2 100 |
| Peckham excelsior 7 B truck | » | 2 000 |
| Peckham standard 6 C truck | » | 2 000 |
| Peckham extra long 6 E truck | » | 2 100 |
| Brill maximum traction truck | » | 1 180 |
| McGuire adjustable traction truck | » | 1 800 |
| Peckham double cushioned swivel truck | » | 1 350 |
| McGuire n° 26 pivotal truck | » | 2 300 |
| Truck de la Société alsacienne | 1,00 | 1 600 |
| Trucks de la Cie française Thomson-Houston : | | |
| Type à voie normale | 1,44 | 2 700 |
| Type à voie étroite | 1,00 | 2 500 |
| Truck de la Société franco-belge, type de Roubaix | 1,00 | 1 675 |
| Trucks Desouches, David et Cie : Type de Toulon | 1,44 | 2 100 |
| — — — Type de Romainville | » | 2 600 |

**Détails de construction.** — Avant de terminer cet aperçu sur les trucks électriques, il nous reste à donner quelques détails sur leurs principaux organes : châssis, ressorts, essieux, boîtes à huile, roues, etc. La question des freins, en raison de son importance, fait plus loin l'objet d'un chapitre spécial.

*Châssis.* — Du châssis lui-même il reste peu de chose à dire, après les descriptions qui précèdent.

Comme nous l'avons déjà fait remarquer, les modèles actuels sont caractérisés par une simplicité de formes qui manquait aux anciens. L'emploi du bois a été rigoureusement proscrit ; le châssis se fait exclusivement en métal, avec le plus petit nombre possible de parties et par suite d'assemblages. On a renoncé aux

Digitized by Google

assemblages par boulons, qui finissent toujours par se desserrer; les rivets eux-mêmes se cisaillent quelquefois sous l'influence des chocs et des vibrations répétés auxquels est soumis le truck.

Au point de vue de la simplicité et de l'économie d'entretien, des longerons d'une seule pièce en acier forgé, tels que ceux du truck Brill, ou en tôle emboutie, comme ceux de McGuire, sont évidemment préférables aux longerons composés de pièces assemblées, surtout lorsque celles-ci comportent des parties en fonte, sujettes à se briser.

En l'absence d'entretoisement diagonal, il faut donner une solidité toute particulière aux asssemblages des traverses avec les longerons, qui s'opposent seuls à la déformation du châssis, et les consolider, si possible, au moyen d'équerres ou de goussets.

***Ressorts de suspension.*** — La suspension des voitures de tramways a été réalisée au début au moyen de simples rondelles en

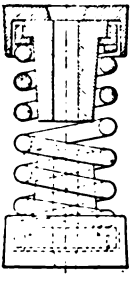


Fig. 261. — Ressort à boudin à corps de caoutchouc.

Fig. 262. — Ressort en spirale conique.

caoutchouc interposées entre le châssis et les boîtes à graisse. Puis on a employé des ressorts formés d'une tige d'acier enroulée en hélice et d'un corps en caoutchouc ; en constituant le noyau par deux cônes opposés, légèrement écartés l'un de l'autre (fig. 261), on obtenait un ressort gradué, dans lequel le caoutchouc venait renforcer la spirale d'acier sous les fortes charges. Le même effet de graduation de la résistance du ressort a été aussi réalisé en donnant à la spirale la forme d'un cône (fig. 262) ou d'un fuseau : les grandes spires travaillent alors seules sous les faibles charges, les petites n'entrant en action que quand la charge augmente.

Digitized by Google

Aujourd'hui, on ne se sert plus guère pour la suspension du châssis que de ressorts à boudin cylindriques ou de ressorts à lames superposées et étagées semblables à ceux des voitures de chemins de fer. Pour graduer les premiers et permettre à leur résistance de croître avec les efforts qu'ils peuvent être appelés à supporter, on double ou on triple le nombre des spirales ; celles-ci sont réunies entre elles par un emboîtement et entrent successivement en action au fur et à mesure de l'augmentation des charges ; lorsqu'il y a deux ressorts, ils sont tournés en sens inverse (fig. 263). Nous avons vu des exemples d'emploi de ce genre de ressorts dans le truck Peckham et le « Diamond » truck.

Fig. 263. — Ressort à double spirale.

Pour la suspension de la caisse sur le truck, l'emploi combiné des ressorts à lames et des ressorts spiraux est maintenant à peu près général. Les premiers ont plus de raideur transversale que les seconds et s'opposent plus efficacement aux mouvements de roulis de la caisse, mais leur amplitude d'action est moins grande.

La fabrication des ressorts spiraux est très délicate. Les constructeurs américains, qui s'en sont fait une véritable spécialité, procèdent en général de la façon suivante : la barre d'acier, de section ronde, demi-ronde, ovale ou rectangulaire, obtenue par laminage, est amincie en biseau à ses extrémités, puis enroulée à chaud sur un mandrin ; la trempe se fait, soit en plongeant pendant quelques minutes dans un bain d'huile la pièce, préalablement portée au rouge cerise, et la laissant ensuite se refroidir lentement, soit en trempant le ressort un instant seulement dans l'huile, puis le faisant tourner rapidement dans l'air pendant qu'il est tout embrasé. Pour assurer à leurs ressorts une trempe uniforme, certains constructeurs les placent, aussitôt après l'opération, dans une fosse maintenue à température constante, où ils se refroidissent régulièrement. Avant d'être livré, chaque ressort est soumis à des épreuves à la compression, après lesquelles on rejette toute pièce présentant une déformation permanente ou la moindre crique ou gerçure.

Comme nous l'avons déjà dit, mais comme il n'est peut-être pas mauvais de le répéter encore, l'utilité des ressorts dans les voitures électriques n'est pas seulement de donner une suspension douce et confortable pour les voyageurs ; ils servent avant tout à amortir les trépidations et les chocs qui sans cela détérioreraient rapidement le matériel roulant et la voie.

Digitized by Google

*Essieux.* — Les roues des voitures électriques sont toujours calées sur leur essieu, comme celles des véhicules de chemins de fer[1]. Du reste, d'une manière générale, l'expérience acquise sur ces derniers relativement aux dimensions des essieux, à leur fabrication, à la nature du métal à employer, constitue le plus sûr guide pour les constructeurs d'automobiles électriques : malgré la moindre vitesse de marche et les charges plus modérées que reçoivent les essieux sur les tramways électriques, ils subissent, en raison de l'état généralement plus défectueux de la voie et surtout des efforts qui leur sont directement transmis par le moteur, une fatigue tout à fait comparable à celle des essieux de chemins de fer.

Les dimensions des différentes parties d'un essieu devraient logiquement résulter des efforts auxquels elles sont appelées à résister; ceux-ci proviennent du poids du véhicule et de celui de l'appareil moteur, des réactions horizontales des rails sur les boudins des roues, de la solidarité des roues qui force l'une d'elles à glisser dans les courbes, enfin du couple moteur exercé par le moteur sur l'essieu et du couple résistant dû au frottement de roulement qui s'exerce à la jante des roues. La première cause produit des efforts de flexion et de cisaillement, la seconde un effort de flexion seulement, et les deux autres des efforts de torsion. Mais il est fort difficile de se rendre un compte exact de l'intensité de ces divers efforts. L'effort de flexion résultant des réactions des rails sur les boudins varie, suivant l'état de la voie, dans des proportions telles qu'il est à peu près impossible de lui assigner des limites. Les efforts dus au poids du véhicule, qui devraient demeurer constants, varient également pendant la marche par suite de l'inégale répartition de la charge entre les fusées : les célèbres expériences de Wöhler sur les chemins de fer ont montré qu'en raison des cahots de la marche l'une des fusées portait par moments plus de 70 p. 100 de la charge totale reposant sur l'essieu; il doit en être à plus forte raison de même sur les tramways, dont la voie est généralement plus mauvaise. Les courbes, les déclivités, les arrêts et démarrages, l'application des freins, font d'autre part varier à chaque instant l'effort de torsion. Il faut tenir compte enfin de ce que les fibres de l'essieu, se trouvant alternativement au-dessus et au-dessous de l'axe, sont alternativement pressées et tendues; elles sont donc dans des conditions de résistance particulièrement désavantageuses.

La résistance des essieux devrait par suite être calculée avec un très large coefficient de sécurité, d'autant plus que le métal des essieux a tendance à se cristalliser et à devenir cassant après un certain temps de service, en raison

[1] Diverses tentatives ont été faites pour rendre les roues d'un même essieu indépendantes, mais la complication qui en résulte a toujours empêché ces systèmes de se répandre.

Digitized by Google

des chocs répétés qu'il reçoit sans aucun intermédiaire élastique[1]. En fait, c'est la pratique et non l'analyse des efforts qu'ils ont à supporter qui a conduit aux dimensions actuelles des essieux de tramways électriques[2].

Les essieux se font en fer ou en acier. L'emploi de l'acier, particulièrement de l'acier doux, se généralise et semble destiné à se

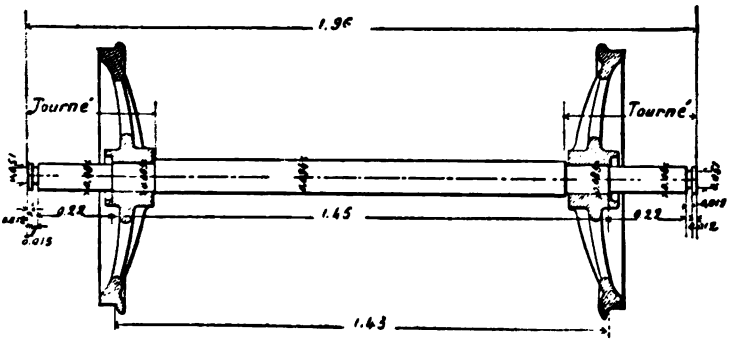



Fig. 264. — Essieu brut.

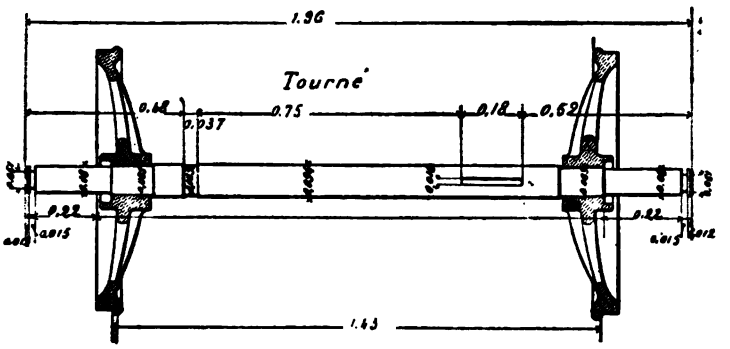



Fig. 265. — Essieu terminé.

Fig. 264 et 265. — Type d'essieu américain.

substituer à celui du fer. Le métal doit être d'excellente qualité et bien homogène. Au lieu de finir l'essieu au tour, certains cons-

[1] Pour éviter les accidents auxquels ce changement de texture moléculaire pourrait donner lieu, certaines compagnies américaines se sont fait une règle de changer les essieux de leurs voitures automobiles après un an ou dix-huit mois de service; les essieux rebutés sont utilisés sous les voitures d'attelage, où leur rupture offre moins de dangers.

[2] Il en est de même pour les essieux de chemins de fer, dont l'on se contente en général de calculer le diamètre à la fusée d'après la charge à supporter et la vitesse du véhicule. Connaissant ce diamètre, la plupart des compagnies donnent à la portée de calage une section variant entre 2,5 fois et 3 fois celle de la fusée. Ces proportions ont été établies d'après les résultats de l'expérience.

Digitized by Google

tructeurs américains lui font subir un étirage dans une sorte de filière ; ils prétendent que ce procédé accroît la résistance transversale et la résistance à la torsion en resserrant les fibres du métal, et garantissent les dimensions de leurs produits à 0,025 m. près.

Pour faciliter le montage du moteur, on donne habituellement

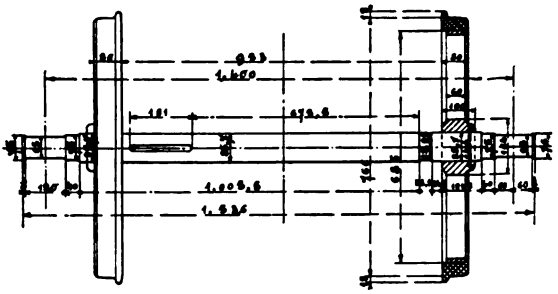


Fig. 266. — Essieu des voitures de Roubaix-Tourcoing.

au corps de l'essieu la forme cylindrique, au lieu de l'amincir au milieu. Les portées des paliers sont tournées et planées comme les fusées.

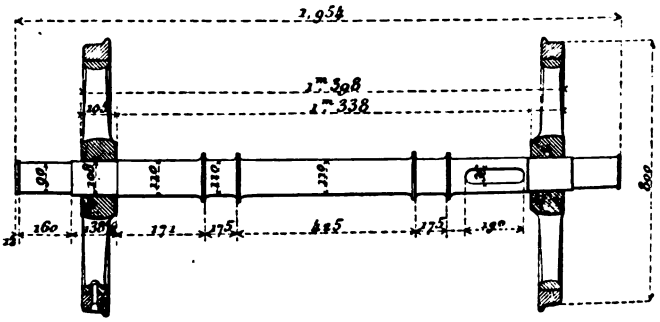


Fig. 267. — Essieu des voitures de Paris-Romainville.

Les figures 264 et 265 montrent un type d'essieu américain pour tramways électriques, à deux états différents de sa fabrication.

Les essieux représentés sur les figures 266 et 267 sont ceux des voitures de Roubaix-Tourcoing et de Paris-Romainville ; ce dernier, très robuste, pèse 130 kg. seul et 443 kg. avec ses 2 roues.

Les essieux des voitures électriques sont naturellement beaucoup plus forts que ceux des tramways à chevaux.

Le tableau ci-dessous donne les dimensions usuelles des essieux

Digitized by Google

de l'un et l'autre genre aux États-Unis, et, à titre de comparaison, celles des essieux employés couramment sur les chemins de fer français[1].

| TYPE DE VOITURE | DIAMÈTRE DE L'ESSIEU | | FUSÉE | | POIDS maximum de la voiture en charge. |
|---|---|---|---|---|---|
| | au milieu du corps. | à la portée de calage. | Diamètre. | Longueur. | |
| | Millim. | Millim. | Millim. | Millim. | Tonnes. |
| Voiture de tramway à 2 chevaux de 40 places, à 4 roues. . . . . | 65 | 60 | 50 | 120 | 5 à 6 |
| Automobile de tramway électrique de 40 places, à 4 roues. . . . . | 85 à 105 | 80 à 100 | 75 à 90 | 150 à 175 | 9 à 10 |
| Voitures et wagons ordinaires des chemins de fer français . . . . . | 115 à 135 | 130 à 160 | 80 à 110 | 160 à 230 | 12 à 16 |

Les chiffres les plus faibles portés à la dernière ligne du tableau correspondent au type normal d'essieu de la Compagnie de l'Ouest, qui porte des wagons pesant 16 tonnes au maximum en charge; en déduisant du poids total du véhicule le poids des paires de roues montées (1 700 kg.), on trouve que chaque fusée de cet essieu supporte une charge de 3 560 kg., tandis que, dans les automobiles électriques, la charge par fusée est de 2 000 kg. environ, et, dans les voitures à chevaux, de 1 250 kg. seulement.

Les proportions des différentes parties de l'essieu ne sont pas les mêmes sur les tramways électriques et sur les chemins de fer: la section de la portée de calage, au lieu d'être 2,5 fois à 3 fois supérieure à celle de la fusée, n'est que 1,5 fois ou au plus 2 fois plus grande; il est vrai que les fusées des essieux d'automobiles sont relativement plus fortes que celles des essieux de wagons et que leurs portées sont un peu moins fatiguées en raison du diamètre plus faible des roues (0,75 m. à 0.85 m. au lieu de 1 m.); mais le rapport des deux sections gagnerait néanmoins à être augmenté, et, d'après l'opinion des bons constructeurs, la section de la portée de calage ne devrait pas être inférieure à 2,5 fois celle de la fusée pour les essieux électriques à voie étroite, ni à 3 fois pour

[1] D'après M. J.-B. Personne, *Revue générale des Chemins de fer*, janvier 1883.

Digitized by Google

les essieux à voie normale. Quant au corps de l'essieu, qui, dans les wagons de chemins de fer, a toujours un diamètre inférieur à celui de la portée de calage, on doit nécessairement le renforcer dans les voitures électriques, pour le mettre en état de résister aux efforts supplémentaires engendrés par le poids et le couple du moteur ; le diamètre du corps doit être égal ou légèrement supérieur à celui de la portée de calage ; il varie d'ailleurs suivant les pièces qui doivent y être fixées.

***Boîtes à graisse et coussinets.*** — Les dispositions des boîtes à graisse présentent une assez grande variété. Le lubrifiant le plus

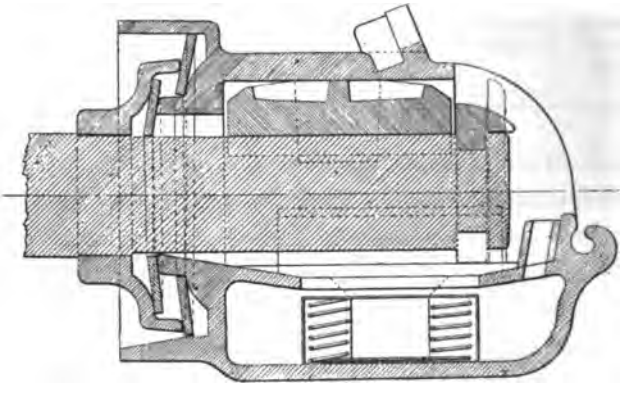


Fig. 268. — Coupe longitudinale de la boîte à graisse Brill.

usité aujourd'hui est liquide : c'est généralement de l'huile minérale.

Les boîtes à graisse américaines sont caractérisées par un réservoir à huile placé à la partie inférieure et dans lequel trempe un tampon généralement pressé contre la fusée par un léger ressort. Le corps de la boîte est d'ordinaire en acier coulé d'une seule pièce, avec une ouverture circulaire à l'une des extrémités pour le passage de l'essieu. Le jeu longitudinal de cet essieu est limité par une fourchette qui s'engage dans une cannelure de la fusée et dans des rainures correspondantes pratiquées dans les parois de la boîte. Une ouverture placée à l'autre extrémité et fermée par un couvercle permet d'introduire l'huile, de changer le tampon ou de remplacer le coussinet.

Digitized by Google

Un soin particulier est apporté à empêcher l'huile de se perdre et la poussière de pénétrer dans la boîte. Le couvercle par lequel on verse l'huile s'applique hermétiquement. Du côté de l'essieu, l'étanchéité de la boîte est obtenue à l'aide d'un écran métallique maintenu en place par un ressort ou au moyen d'une simple ron-

Vue d'ensemble de la boîte et des plaques de garde.

Coupe longitudinale.

Coupe transversale.

Ecran obturateur

**Fig. 269. — Boîte à graisse Peckham.**

delle en carton ou en fibre qui entoure l'essieu et se loge dans une rainure ménagée à la partie postérieure de la boîte.

Les bonnes boîtes à huile n'ont besoin d'être remplies que tous les six ou huit mois.

Les figures 268 et 269 montrent deux exemples de boîtes à huile américaines, la boîte *Brill* et la boîte *Peckham*.

Digitized by Google

Un type de boîte analogue, mais avec graissage par chaîne sans fin, se voit sur la figure 270.

Les boîtes employées en Europe sont pour la plupart du type

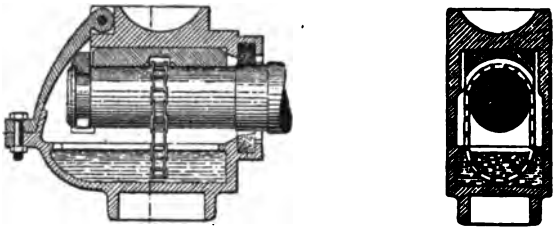
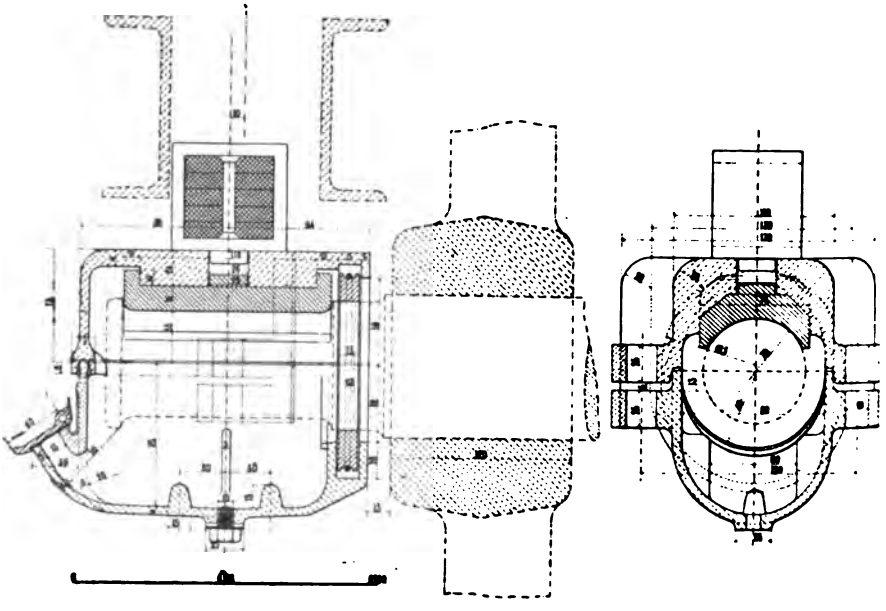


Fig. 270. — Boîte à graissage par chaîne sans fin.

américain. Elles sont généralement en fonte et se font souvent en deux pièces ; l'important est alors d'avoir un joint bien étanche.



Coupe par l'axe longitudinal. Coupe par l'axe transversal.

Fig. 271. — Boîte à graisse de la Société franco-belge.

La figure 271 représente un modèle de boîte en fonte malléable construit par la *Société franco-belge*.

Les coussinets se font en bronze ou mieux en métal blanc dit antifriction (cuivre, antimoine, étain).

Digitized by Google

Ils n'embrassent en général que le tiers environ de la circonférence de l'essieu.

La limite admise pour la pression des coussinets sur les fusées est moins élevée dans les voitures électriques que dans les voitures à chevaux. Dans ces dernières, la charge sur la fusée atteint couramment 35 kg. par centimètre carré de surface d'appui; cette pression considérable, qui se justifie par la vitesse peu élevée des tramways à chevaux et leurs arrêts fréquents, permettant à la fusée de se refroidir, ne serait pas acceptable sur les tramways électriques. On réduit, dans ce dernier cas, la pression par centimètre

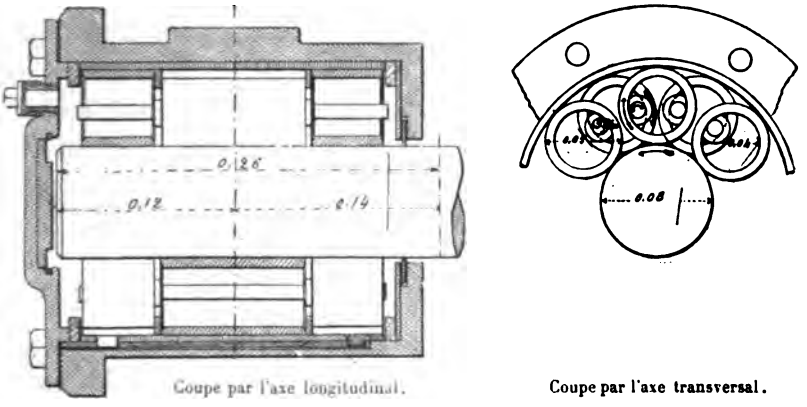



Fig. 272. — Boite à rouleaux Meneely.

carré de surface d'appui à 20 ou 25 kg., se rapprochant ainsi des valeurs admises sur les chemins de fer.

On a essayé à différentes reprises de remplacer les coussinets ordinaires par des paliers à rouleaux; mais cette modification ne s'est pas encore répandue dans la pratique en raison de la complication de ces appareils et de la délicatesse de leurs organes. Nous citerons parmi les meilleurs types de paliers à rouleaux le palier *Meneely* (fig. 272), qui a été employé avec succès sur plusieurs chemins de fer américains, ainsi que sur les tramways électriques d'Albany, de Ryde, etc. Il comprend trois séries de rouleaux en acier Mannesmann, de section uniforme, enfermés dans une boîte cylindrique revêtue d'une doublure en acier; les rouleaux des deux groupes extrêmes sont placés deux à deux sur une

Digitized by Google

nême génératrice ; ceux du milieu, de longueur double, occupent les positions intermédiaires ; l'alignement de ces rouleaux est naintenu par des tiges d'acier ayant la longueur de la boîte et ›articipant au mouvement de rotation général.

Un autre palier à rouleaux, le papier *Hyatt*, à rouleaux flexibles, ui a été essayé sur les voitures à accumulateurs de la Compagnie es tramways de Paris et du département de la Seine et qui avait onné à ses débuts de très belles espérances, a dû être abandonné, ›arce que le manchon d'acier séparant la fusée des rouleaux s'usait t finissait par ne plus tourner avec l'essieu, substituant ainsi un rottement de glissement au frottement de roulement.

On a obtenu récemment, paraît-il, en Amérique, de bons résul- ıts avec le palier *Mossberg*, qui est constitué par des rouleaux de ›etit diamètre en acier trempé dur, montés dans une cage de bronze. ,es constructeurs garantissent pour ce palier une économie de uissance d'au moins 25 p. 100, et il aurait parcouru sous une voi- ıre électrique plus de 200 000 km. sans usure appréciable.

***Roues.*** — Les roues d'automobiles électriques ne jouent pas eulement, comme celles des véhicules ordinaires, le rôle de sup- ort, et cela pour des charges qui peuvent s'élever, sur les tram- vays, jusqu'à 2 500 ou 3 000 kg. par roue ; elles sont en même emps motrices et fonctionnent de ce fait comme de véritables pou- es sur lesquelles s'enroulerait une courroie ayant pour tension effort de traction à la jante. Elles ont en outre à subir l'action épétée de freins d'autant plus puissants que les voitures sont plus ›urdes et marchent plus vite.

L'usure résultant de ces diverses causes se fait sentir sur une sur- .ce de roulement de 50 à 60 mm. de largeur seulement et sur un ›udin ayant au maximum 18 à 22 mm. de hauteur et 16 à 20 mm. 'épaisseur ; la largeur totale de la jante est habituellement com- rise entre 70 et 80 mm [1]. Le boudin, qui est la partie la plus fati- uée, a ses dimensions strictement limitées par celles de l'ornière es rails de tramways ; quant à la surface de roulement, elle doit

[1] Sur les chemins de fer, les bandages ont une largeur totale de 130 mm. environ, les ›udins font une saillie de 25 à 30 mm. et ont de 25 à 30 mm. d'épaisseur minima.

Digitized by Google

rester assez étroite pour que la roue ne vienne pas porter sur les pavés contigus au rail, qu'elle briserait.

On donne souvent à la surface de roulement une forme légèrement conique (1/20 à 1/50 d'inclinaison); mais cette pratique n'est pas absolument générale; la conicité disparaît d'ailleurs rapidement par l'effet de l'usure, les rails de tramways ayant généralement leur table supérieure horizontale et n'étant par suite en contact avec la roue que par le rebord du champignon. La suppression de la conicité n'a pas grand inconvénient sur les tramways à chevaux; mais, aux grandes vitesses atteintes sur les tramways électriques, les roues, n'étant plus guidées que par leurs boudins, prennent des mouvements de lacet nuisibles à la voie et au matériel. Il vaut donc mieux, dans ce cas, conserver la forme conique; pour éviter la formation trop rapide d'un creux dans la surface de roulement, on peut alors avantageusement donner à la table supérieure du rail une inclinaison correspondante à cette conicité, soit en inclinant le rail lui-même, ce qui entraîne certaines sujétions de pose, soit en profilant la partie intérieure de la table en biseau, comme le fait par exemple la Chicago City Railway Co [1].

Ainsi qu'on l'a vu plus haut (p. 104), le diamètre des roues de tramways électriques est habituellement compris entre 0,75 et 0,85 m.

Ces roues se font, soit en fonte avec surface de roulement trempée, soit en acier, soit en fer, ces dernières avec bandage rapporté.

Les roues *en fonte trempée* sont surtout usitées aux Etats-Unis, où leur fabrication a pris un énorme développement par suite de l'emploi à peu près exclusif de ces roues sur les voies ferrées américaines. On sait que le principe du procédé consiste à couler la fonte dans un moule garni à sa périphérie d'une couronne métallique présentant la forme de la jante, tandis que tout le reste du moule est en sable. Le refroidissement subit de la fonte au contact de la partie métallique du moule donne à la surface de roulement et au boudin de la roue une dureté comparable à celle de l'acier le plus dur. Le grain devient, au voisinage du métal, blanc, cristal-

[1] *Street Railway Journal*, novembre 1896, p. 698.

Digitized by Google

ı et cassant, tandis que les parties internes restent grises, plus ı moins flexibles et fibreuses.

Les meilleures roues coulées en coquille sont obtenues avec la fonte au bois ıfflée à froid. Certaines usines américaines sont arrivées à livrer des pro- ıits de qualité tout à fait remarquable ; le métal avec lequel leurs roues sont ›riquées atteint une résistance à la traction de 28 kg. par mm. carré et se sse marteler comme du fer. La trempe atteint avec cette fonte jusqu'à mm. de profondeur et la structure cristalline qui caractérise les parties mpées s'harmonise bien avec le reste de la masse.

Pour qu'une roue motrice fasse un bon service, la trempe doit pénétrer au ›ins jusqu'à 20 mm. de la surface et son épaisseur doit être bien uniforme r toute la circonférence.

La coulée s'opère ordinairement dans des moules à contraction : la jante moulée sur une couronne en fonte composée de segments pouvant prendre léger jeu pour accompagner la roue pendant le retrait. Pour augmenter profondeur de la trempe et la rendre plus uniforme, certains constructeurs roidissent artificiellement le moule par un courant d'air ou d'eau. La coulée fait très rapidement et à très haute température. Dès que la fonte a fait se dans le moule, on retire les roues et on les place par dix ou vingt dans fosses hermétiquement closes où on les laisse se refroidir lentement. Ce roidissement graduel a pour objet de détruire les tensions qui se produisent jours dans les pièces coulées en coquille. Les roues restent quatre à cinq rs dans la fosse ; elles n'en sortent que lorsqu'elles sont arrivées à une tem- ature assez basse pour pouvoir être touchées. Il ne reste plus ensuite qu'à er le moyeu et à caler la roue sur l'essieu. Certains fabricants font en re passer les roues au tour, soit avant, soit après leur montage, pour enle- les imperfections de moulage et les mettre au même diamètre. En raison la dureté de la fonte trempée, l'opération ne peut se faire avec les outils inaires ; il faut recourir à la meule à émeri.

es roues en fonte pour tramways électriques se font plutôt à rais qu'à ıue plein : la première forme permet de mieux masser le métal et d'obtenir trempe plus profonde ; avec les poids de roues usuels, le disque plein ne ırrait avoir plus de 12 à 15 mm. d'épaisseur, et, dans le cas d'un métal nant bien la trempe, ce disque serait très fragile. Les rais sont toujours ement courbés dans le plan perpendiculaire à la roue, plus fortement même ıs les roues de tramways électriques que dans les autres : on estime que rais se prêtent mieux ainsi aux dilatations résultant de l'échauffement duit par l'action des freins.

e poids des roues de tramways électriques varie en Amérique de 140 à kg., tandis que le poids des roues similaires de voitures à chevaux n'est re que de 80 à 100 kg. Le poids de 140 kg. est même faible et il est pru- t, pour des roues de 0,84 m. de diamètre, de ne pas descendre au-dessous 160 kg. Sur les tramways suburbains à grande vitesse, le poids des roues ve à 200 ou 230 kg., se rapprochant ainsi des poids usités sur les chemins er ; elles sont alors souvent à disque plein.

a largeur du bandage est habituellement comprise entre 70 et 90 mm. Les

Digitized by Google

boudins font une saillie de 15 à 20 mm. ; leur épaisseur, plus grande que chez nous par suite de l'emploi général du rail à gradin au lieu du rail à ornière, atteint 25 et 30 mm.

La figure 273 montre une roue américaine typique.

On fait subir aux roues des épreuves sévères avant leur mise en service. Ces épreuves consistent ordinairement à soumettre une roue sur cent, posée horizontalement sur 3 appuis, au choc d'un mouton de 60 kg. tombant d'une hauteur de 2 à 3 mètres ; la roue doit supporter 5 chocs sans se rompre. On exige en outre que les roues aient toutes une circonférence uniforme à 12 mm. près et un diamètre uniforme (avant passage au tour) à 1,5 mm. près, et que la profondeur de la trempe ne varie pas de plus de 6 mm. sur tout le pourtour de la roue.

La durée des roues en fonte trempée est moins longue sur les tramways

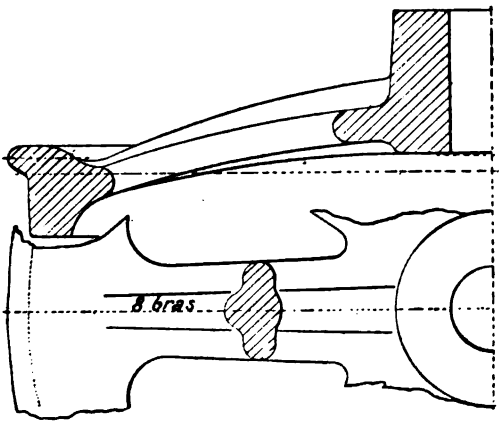



Fig. 273. — Roue américaine en fonte trempée.

électriques que sur les chemins de fer, en raison de l'état généralement défectueux de la voie, du patinage fréquent des roues motrices et surtout de l'application beaucoup plus souvent répétée des freins, qui constitue l'un des facteurs les plus actifs d'usure de la jante. Sur les chemins de fer, les roues fournissent souvent un parcours de 150 000 km., tandis que le chiffre de 130 000 km. est une limite rarement atteinte sur les tramways électriques. Les roues des voitures à traction animale fournissent également des parcours plus longs que les roues d'automobiles électriques.

Les causes les plus fréquentes de rebut, en dehors des ruptures accidentelles dues à un défaut de la matière ou à l'emploi d'un modèle trop léger, sont la formation de « plats » sur la jante et l'usure ou la rupture du boudin. L'emploi irraisonné du frein et la présence de sable sur les rails sont les causes ordinaires de l'aplatissement de la jante ; dès qu'un plat a pris naissance, il tend d'ailleurs à s'agrandir, parce qu'au moment du serrage des sabots la roue tend naturellement à s'arrêter sur la partie déjà aplatie. Quant à l'usure ou à la rupture du boudin, elle peut résulter soit d'une trempe imparfaite,



Digitized by Google

›it d'un mauvais montage des roues ou d'un défaut de parallélisme des ›sieux, soit d'une pose défectueuse de la voie.

Les roues rebutées pour l'une de ces causes ou par suite d'usure normale › la surface de roulement sont cassées et refondues.

Il résulte d'une série d'articles publiés en 1895 par le *Street Railway Jour-ıl*[1] que le parcours fourni par les roues de tramways électriques en fonte empée aux Etats-Unis est extrêmement variable[2]; il s'abaisse dans certains s à 20 000 km. pour s'élever dans d'autres à 100 000 km., plus rarement à 0 000 km.; on considère que des roues motrices ont fait un bon service lors-ı'elles ont parcouru 50 000 km.

Certains constructeurs garantissent pour leurs roues un parcours moyen de 000 km.

Les roues en fonte trempée de bonne qualité fournissent par-ut où on les emploie un excellent service. Mais leur fabrication ige l'emploi d'un métal de premier choix et des soins spéciaux ıi ne se rencontrent pas chez tous les constructeurs. En dépit des écautions prises, il arrive que ces roues, lorsqu'elles sont à rais, ésentent des tapures résultant de l'inégalité de tension des diverses rties au moment du retrait. Celles à disque plein causent en ırche un bruit sourd désagréable aux voyageurs, surtout dans le ssage des courbes. Ces inconvénients, joints à la durée relative-›nt faible des roues en fonte, font qu'il existe depuis quelque nps déjà, en Amérique même, une tendance à abandonner ce ›e de roue pour les roues en acier coulé ou les roues bandagées ıcier.

Les roues *en acier coulé*, qui présentent à peu près les mêmes fauts que les précédentes, donnent aussi lieu à des difficultés de ›rication assez grandes. Beaucoup cassent au retrait, qui est uble de celui de la fonte. Leur seul avantage sur les roues en ıte est d'être plus légères, moins sensibles à l'action des freins de durer plus longtemps, par suite de la possibilité de rafraîchir surface de roulement lorsqu'elle est usée ou même d'y rapporter bandage; mais, en revanche, leur prix est très notablement ›érieur (80 fr. environ les 100 kg. au lieu de 50 fr.).

Voir notamment une étude de M. Partridge, février 1895.

La durée d'une roue dépend en effet d'abord de la qualité du métal et du mode de ·ication, puis de la forme relative du bandage et du champignon du rail, du poids e la vitesse de la voiture, du nombre de courbes, d'aiguillages et de croisements, du fil de la ligne, de l'état de la voie et de la chaussée, du système de freins, de la ıuence des arrêts, etc.; l'habileté plus ou moins grande du conducteur à se servir freins joue aussi un rôle important.

Digitized by Google

Les roues *à bandage rapporté*, avec centre en fer ou en acier, qui ont fait depuis longtemps leurs preuves sur les chemins de fer et tramways européens, et notamment les roues à rais en fer forgé bandagées d'acier, offrent par rapport aux deux types précédents de sérieux avantages. Elles ne pèsent pas plus que les roues en fonte, usent moins les rails et assurent, grâce à leur élasticité, une sécurité qu'on ne peut obtenir au même degré avec les autres genres de roues. De plus, elles permettent l'emploi de bandages en acier de qualité supérieure donnant toutes les garanties voulues. La surface de roulement, en cas d'usure, peut être rafraîchie sans grande dépense et ramenée au profil primitif. Enfin, lorsque le bandage est arrivé à une épaisseur trop faible pour permettre un nouveau tournage, il peut être remplacé facilement et à peu de frais.

La durée de la roue est ainsi augmentée dans une très large mesure : elle peut user 6 à 8 bandages, ce qui, théoriquement, devrait correspondre à un parcours minimum de 600 000 km.

Mais, en pratique, le tournage de la surface de roulement n'est possible que si le boudin n'est pas lui-même trop usé. C'est malheureusement sur le boudin que l'usure tend principalement à se porter, dans le cas des tramways, et, comme l'acier ordinaire présente une dureté beaucoup moindre que la fonte trempée, il peut arriver que le bandage se trouve mis prématurément hors de service par suite de l'usure du boudin, alors que son épaisseur permettrait encore un ou plusieurs tournages. Pour réaliser tous les avantages de la roue à bandage rapporté, il faut donc choisir pour le bandage un métal ayant une dureté comparable à celle de la fonte trempée, tout en ne présentant pas la même fragilité. On emploie aujourd'hui avec succès pour cet usage des aciers spéciaux, au nickel, au manganèse, au chrome, etc.

Les roues du système *Arbel et Deflassieux*, qui sont les plus connues en France parmi les roues de cette espèce, sont formées d'une jante, de rais droits et d'un moyeu en fer, soudés dans une étampe au moyen d'un marteau pilon de 10 à 20 tonnes, après avoir été chauffées au rouge blanc dans des fours à gaz Siemens pour éviter l'oxydation du métal. Les bandages de ces roues sont fabriqués sans soudure, avec de l'acier de choix, généralement de l'acier Martin ; on commence aussi à employer un acier chromo-nickel

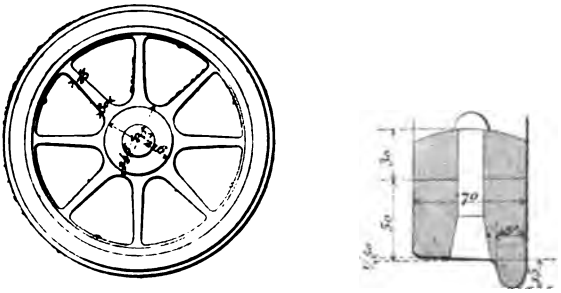
Digitized by Google

présentant une résistance à la traction de 65 à 75 kil. par mm. carré et un allongement de 18 à 15 p. 100.

On fait également des roues à bandage rapporté avec centre en fer et fonte, en fer laminé, en acier coulé, en papier comprimé, etc.

On met les bandages en place en les chauffant fortement de manière à augmenter leur diamètre ; ils serrent ensuite la jante par refroidissement ; lorsqu'ils sont placés, on les fixe par des vis, des rivets ou des agrafes, de manière qu'en cas de rupture ils ne puissent se détacher complètement. On fait aussi quelquefois cette opération à la presse hydraulique.

Les bandages employés pour les roues de tramways électriques ont généralement une épaisseur de 40 à 50 mm.



Elévation de la roue. Profil et mode de fixation du bandage.

Fig. 274. — Roue en fer étampé, à bandage en acier (voitures de Romainville).

Sans atteindre, en général, le prix élevé des roues en acier coulé, les roues en fer bandagées d'acier reviennent plus cher que les roues en fonte. Un centre en fer, avec son bandage, coûte de 100 à 130 fr., suivant l'importance de la commande.

L'essieu monté coûte 260 à 320 fr.

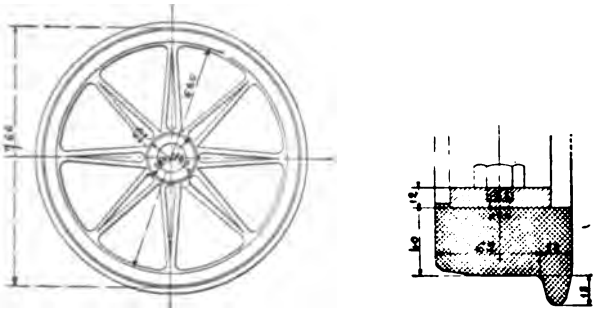
La figure 274 montre un type de roue à bandage rapporté, fabriqué par les établissements Arbel ; ce modèle, qui pèse 150,5 kg. (dont 80,5 kg. pour le centre et 76 kg. pour le bandage) est employé sous les voitures de Romainville, dont nous avons montré plus haut (fig. 267, p. 296) l'essieu monté.

Un autre type est représenté par les figures 266 et 275 : c'est le modèle de roue qui est employé sous les voitures de Roubaix-Tourcoing.

Digitized by Google

Le moyen le plus usité pour caler les roues sur les essieux consiste à introduire de force l'essieu dans le moyeu, au moyen d'une presse hydraulique qui exerce un effort de 20 à 30 tonnes.

Quelques constructeurs ont proposé, dans le but d'augmenter l'élasticité de la roue, de la monter sur une bague calée sur l'axe, en interposant entre cette bague et le moyeu un manchon de caout-



Elévation de la roue. Profil et mode de fixation du bandage.

Fig. 275. — Roue en fer forgé, à bandage en acier (voitures de Roubaix).

chouc. Cette disposition, qui aurait l'avantage additionnel de faciliter les remplacements de roues, est malheureusement trop compliquée pour avoir chance de se répandre.

## §. 2. — Caisses d'automobiles de tramways

Les caisses d'automobiles de tramways électriques sont dérivées des caisses de tramways à chevaux. Mais, tout en conservant la même disposition générale, on a dû apporter à la construction certaines modifications imposées par les conditions nouvelles de la propulsion.

Tout d'abord, la carcasse a dû être sérieusement renforcée : la vitesse et le poids plus grands, les arrêts et les démarrages plus brusques des voitures électriques soumettent en effet la charpente à des efforts d'une violence inconnue avec la traction animale ; ces efforts sont surtout intenses au passage des courbes et dans les mouvements de tangage. Ensuite, dans les voitures à trôlet, il a fallu mettre la toiture en état de supporter le poids de l'appareil de prise de courant et celui des ouvriers chargés de la

Digitized by Google

visite et des réparations de cet appareil. On a dû aussi ménager dans le plancher de la voiture des trappes à couvercle mobile, permettant d'inspecter et au besoin de remplacer les organes moteurs sans qu'il soit nécessaire de lever la caisse. Il y a eu lieu enfin de réserver le passage des câbles conducteurs allant du trôlet aux moteurs, aux régulateurs, au rhéostat, aux lampes, etc.

Les caisses de voitures à chevaux ne peuvent généralement pas être réemployées pour la traction électrique. A moins d'avoir des voitures presque neuves, pouvant subir un remaniement complet et s'adapter convenablement au truck moteur, on doit plutôt utiliser l'ancien matériel comme voitures d'attelage.

Nous allons d'abord donner une idée du matériel roulant américain.

### MATÉRIEL AMÉRICAIN

Ce matériel présente une très grande variété de types. On y trouve des caisses fermées à banquettes longitudinales ou transversales, des caisses ouvertes, généralement à bancs transversaux, des caisses fermées à parois amovibles, des caisses vestibulées (à plates-formes fermées), des caisses partie ouvertes et partie fermées, en usage surtout sur la côte du Pacifique, des caisses mixtes pour voyageurs et marchandises, etc.

A un petit nombre d'exceptions près, ces types sont caractérisés par l'absence d'impériale. Cette différence essentielle avec la pratique européenne ne tient pas à la différence des climats, car les étés sont très chauds aux États-Unis et la plupart des compagnies de tramways ont un double matériel, fermé pour l'hiver, ouvert pour l'été. La proscription des impériales doit être attribuée principalement à la perte de temps qui résulterait de la montée et de la descente des voyageurs : les Américains, estimant avec juste raison qu'une des qualités des tramways doit résider dans la rapidité du service, évitent tout ce qui est susceptible de la diminuer.

Pour donner une idée de la diversité des types employés en Amérique, nous avons inséré à la fin de ce volume, dans les Appendices, la liste des principaux modèles de voitures de tramways électriques construits par la compagnie Brill, de Philadelphie, avec l'indication du poids et du prix de chacun d'eux.

Digitized by Google

**Exemples.** — Les figures 276 à 290 montrent quelques exemples caractéristiques d'automobiles de tramways électriques américaines.

La première (fig. 276) représente le type le plus ordinaire, à caisse fermée

Fig. 276. — Voiture fermée ordinaire.

et à deux plates-formes ouvertes; il se fait généralement à sièges longitudinaux, quelquefois à sièges tranversaux avec passage central. Des marchepieds d'accès sont placés de chaque côté des plates-formes, et les deux entrées de la caisse se ferment au moyen de portes à coulisse simples ou doubles[1]; des grilles pliantes permettent d'interdire l'accès des plates-formes du côté de l'entre-voie.

Fig. 277. — Voiture fermée vestibulée.

Dans un autre modèle (fig. 277) les plates-formes sont entourées d'une cloison de protection avec baies vitrées; elles sont « vestibulées », suivant le terme

[1] Ces portes sont généralement suspendues sur une glissière cintrée en son milieu, de manière à assurer le maintien de la porte dans sa position d'ouverture ou de fermeture malgré les cahots de la marche.

Digitized by Google

Fig. 278. — Voiture fermée à entrées contiguës aux marchepieds.

Fig. 279. — Voiture fermée à trois entrées.

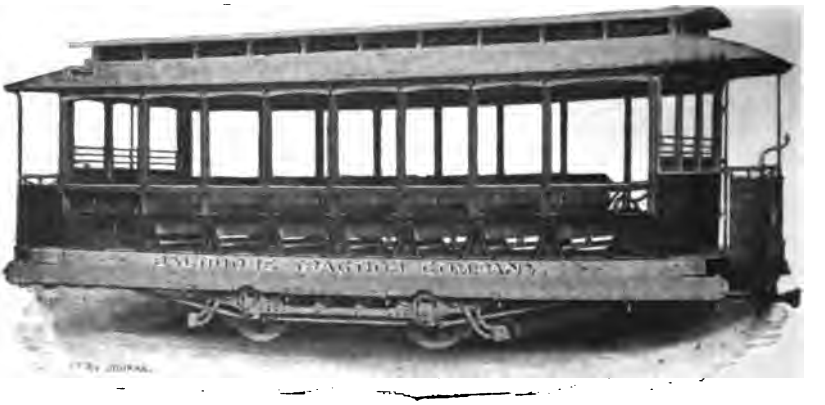


Fig. 280. — Voiture ouverte.

Digitized by Google

consacré en Amérique. Cette disposition jouit, surtout depuis deux ou trois ans,

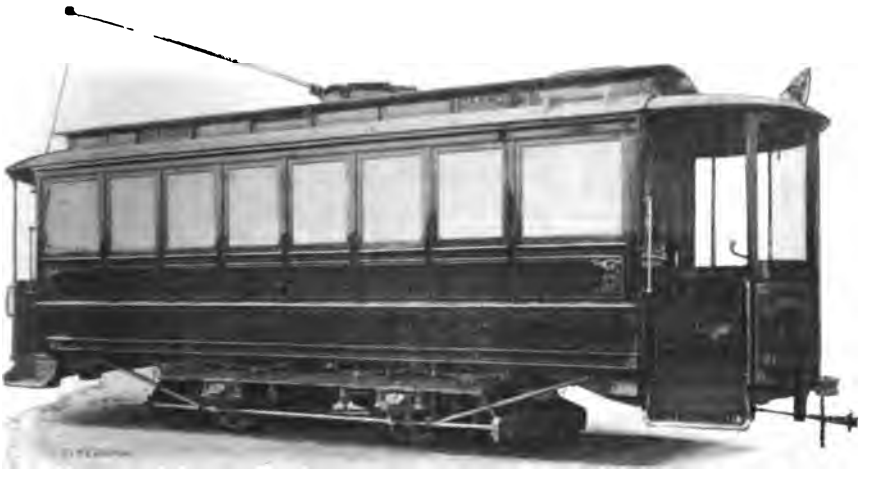


Fig. 281. — Voiture convertible. — Tenue d'hiver.

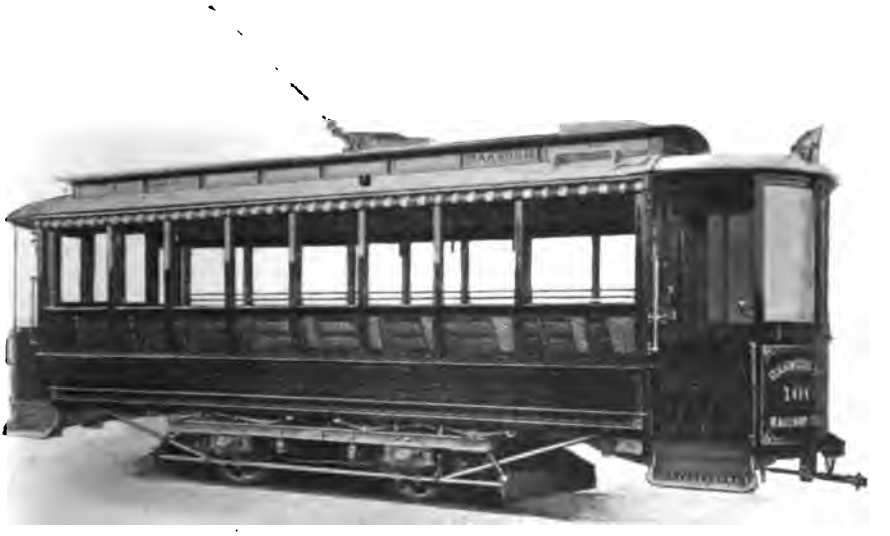


Fig. 281 *bis*. — Voiture convertible. — Tenue d'été.

d'une assez grande vogue ; dans certains États, elle a même été rendue obligatoire, au moins pour la plate-forme d'avant quand les voitures marchent toujours dans le même sens. Elle présente le sérieux avantage de protéger le

Digitized by Google

mécanicien contre les intempéries et d'aider à la conservation de la chaleur dans l'intérieur de la voiture ; mais pour qu'elle ne crée pas d'obstacle à l'en-

Fig. 282. — Voiture fermée à 3 essieux.

trée et à la sortie des voyageurs, la cloison de protection doit être largement ouverte sur le côté, comme le montre l'exemple choisi.

Dans le but d'augmenter la facilité de dégagement, quelques constructeurs

Fig. 283. — Voiture fermée à bogies.

placent les entrées de la caisse en dehors de l'axe de la voiture, tout près des marchepieds (fig. 278) ; on évite ainsi l'obstruction de ces entrées par les voyageurs de plates-formes.

Nous citerons, dans le même ordre d'idées, un type de voiture un peu exceptionnel, mais très en faveur à Cleveland et à Détroit, qui comporte (fig. 279).

Digitized by Google

en plus des deux entrées ordinaires, une porte centrale donnant sur un couloir latéral; les sièges sont transversaux; la porte du milieu peut être fermée par le conducteur de l'une ou l'autre plate-forme. Cette disposition, qui aug-

Fig. 284. — Voiture vestibulée à bogies.

mente beaucoup la rapidité de l'embarquement et du débarquement, n'est admissible, bien entendu, que si le sens de la marche ne change pas.

Les voitures ouvertes sont d'un usage absolument général aux États-Unis

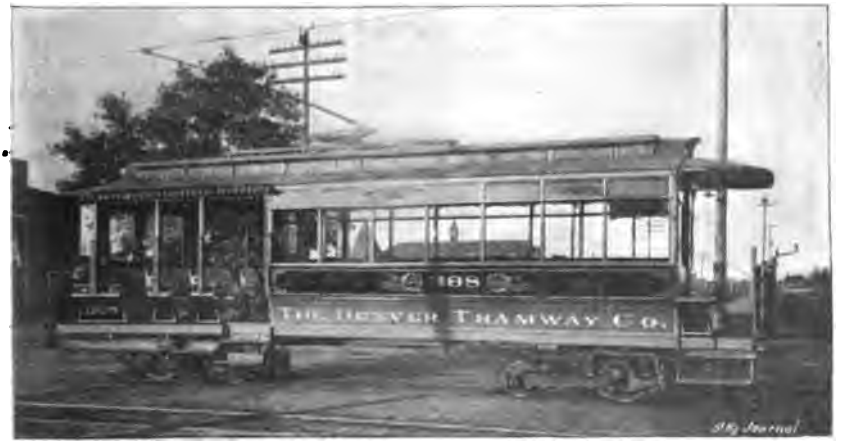



Fig. 285. — Voiture partie ouverte et partie fermée.

pendant l'été. Ces voitures, dont la figure 280 donne un bon exemple, sont presque toutes à sièges transversaux. Des marchepieds règnent latéralement d'un bout à l'autre du véhicule, qui est ainsi accessible sur toute sa longueur. Les banquettes sont généralement à dossier réversible.

Pour éviter les frais d'achat d'un double matériel, fermé et ouvert, certaines compagnies emploient des voitures du type dit « convertible », dont la caisse,

Digitized by Google

normalement fermée, peut se convertir l'été en caisse ouverte sur tout son pourtour. Les figures 281 et 281 *bis* représentent un véhicule de ce genre; dans sa tenue d'hiver, il ne se distingue en rien des voitures fermées ordinaires; pour l'été, on enlève les glaces des fenêtres et une partie des panneaux inférieurs qu'on remplace par des écrans en toile métallique.

Fig. 286. — Voiture postale.

La même variété de dispositions se retrouve dans les voitures à plus de deux essieux.

La figure 282 montre une voiture fermée à sièges longitudinaux, montée sur un truck Robinson à trois essieux.

Deux bons exemples de voitures à bogies pour le service urbain se voient sur les figures 283 et 284. Ces voitures se font généralement à sièges transversaux avec couloir central.

Nous donnons également (fig. 285) un spécimen d'un genre de voiture très répandu en Californie, qui est une combinaison de voiture ouverte et de voiture fermée (combination car); ce type se fait à deux ou à quatre essieux.

Quelques compagnies de tramways américaines possèdent des voitures spéciales pour le transport de la poste ou des messageries, pour les parties de plaisir, les convois d'enterrement, etc.

L'administration des Postes se sert dans un grand nombre de cas très avantageusement des tramways électriques pour transporter rapidement les sacs de dépêches des gares de chemins de fer au bureau central et de celui-ci aux bureaux urbains ou aux gares. Ce service est le plus souvent fait par les voitures ordinaires, mais dans certaines villes importantes, comme

Digitized by Google

New-York, Chicago, Boston, Philadelphie, Saint-Louis, etc., on emploie dans ce but des voitures spéciales constituant de véritables bureaux ambulants.

Les figures 286 à 288 représentent une voiture de ce genre, en service à New-York. L'aménagement intérieur, analogue à celui des bureaux ambulants de chemins de fer, est conçu de manière à permettre, pendant le temps du trajet, toutes les manipulations qui précèdent la distribution du courrier. Il comporte des casiers à chaque extrémité, des tables pour le triage et le timbrage des lettres, un ratelier pour les sacs, etc. Les fenêtres sont munies d'écrans en toile métallique pour empêcher les plis de voler au dehors.

Fig. 287. — Intérieur de voiture postale.

D'autres voitures postales sont mixtes et comprennent un compartiment à voyageurs en même temps qu'un bureau de poste.

Pour le transport des bagages, messageries, marchandises en général, on emploie également, soit des voitures mixtes, soit des wagons spéciaux qui peuvent être montés sur deux ou quatre essieux. La figure 289 montre un véhicule de ce dernier genre, en tous points semblables aux wagons ordinaires de chemins de fer américains.

On rencontre aussi aux États-Unis des voitures électriques pour le transport des malades ou blessés (fig. 290) qui jouent à peu près le rôle de nos ambulances urbaines, des voitures aménagées en corbillards, etc.

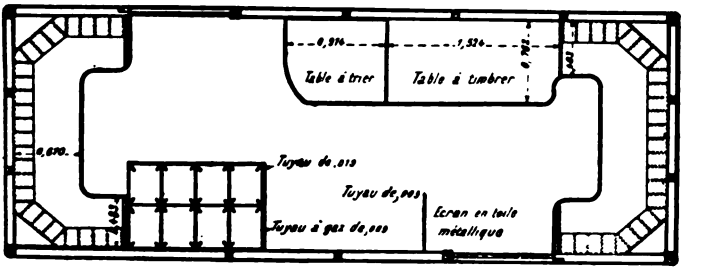



Fig. 288. — Plan de voiture postale.

Enfin, dans quelques grandes villes, les compagnies de tramways possèdent des voitures-salons qu'elles louent pour des parties de théâtre, de cam-

Digitized by Google

pagne, etc. Ces voitures ne présentent d'ailleurs d'autre particularité que d'être beaucoup plus richement décorées que les autres et d'être généralement pourvues de sièges mobiles au lieu des banquettes ordinaires.

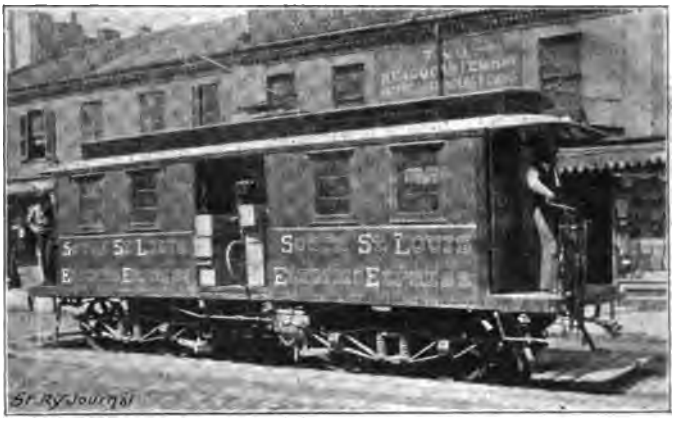


Fig. 289. — Fourgon à messageries.

Toutes ces voitures sont à voie large, le tramway à voie étroite n'existant pas en Amérique.

Fig. 290. — Voiture-ambulance.

**Dimensions.** — Les dimensions des caisses ont constamment été en croissant depuis l'introduction de la traction électrique ; on

Digitized by Google

s'est vite aperçu, en effet, que les frais de traction étaient loin de croître proportionnellement aux dimensions des voitures.

De 4 ou 5 m. au maximum, la longueur de la caisse est successivement passée à 5,50, 6,00 et 6,50 m., pour les voitures à deux essieux; en même temps, on introduisait sur les tramways les grandes voitures à trois et quatre essieux, mesurant jusqu'à 8 et 9 m. de longueur de caisse.

Mais, après avoir été très en faveur, ces grandes voitures ne sont plus guère employées, sur les tramways proprement dits, que dans le cas d'un trafic intense et régulier, dans les grandes villes où le personnel est coûteux, ou bien sur les lignes suburbaines. Dans la généralité des cas, on a reconnu que les voitures automobiles à deux essieux répondaient mieux aux besoins du trafic ordinaire, tout en permettant, par l'adjonction de voitures remorquées aux heures d'affluence, d'accroître à volonté la capacité de transport et de réaliser un service éminemment élastique, beaucoup plus économiquement que les grandes voitures. Ces dernières ont, de plus, l'inconvénient d'avoir une plus grande masse et de rendre plus lentes l'entrée et la sortie des voyageurs, ce qui augmente le temps perdu aux arrêts. Ainsi à Boston, où le matériel roulant est en majeure partie composé de grandes voitures, la vitesse commerciale est très inférieure à ce qu'elle est dans d'autres villes américaines, à peine supérieure à celle atteinte sur les tramways à chevaux. Nous reviendrons, du reste, sur cette question à propos du choix de la capacité des voitures.

Les types de voitures fermées à deux essieux les plus usités actuellement sont ceux qui correspondent à des longueurs de caisse de 18 et 20 pieds anglais (5,50 m. et 6,10 m.) et à des longueurs totales hors tampons de 26 et 28 pieds (7,93 m. et 8,54 m.). Le nombre des places assises est de 24 à 28; la capacité totale, qui n'est limitée que par la superficie du plancher puisqu'en Amérique l'écriteau « complet » n'existe pas[1], est d'au moins 60 à

[1] Il se manifeste cependant depuis quelque temps dans les grandes villes, en présence des accidents causés par l'envahissement des plates-formes et des marchepieds, une tendance à réglementer le nombre maximum de voyageurs que les conducteurs sont autorisés à laisser monter dans les voitures. A Brooklyn, un arrêté municipal récent interdit de dépasser 50 p. 100 du nombre de places assises.

Digitized by Google

80 voyageurs ; la caisse pèse 2 000 à 2 600 kg. à vide et la voiture complète, 4 à 5 t. sans moteurs.

Pour les voitures fermées à bogies, la longueur de caisse reste généralement comprise, sur les tramways urbains, entre 7 et 8,50 m. et la longueur totale, entre 9,50 et 11 m. Ces voitures contiennent de 30 à 45 places assises et au total 90 à 120 personnes.

Les voitures ouvertes comportent de 7 à 12 banquettes transversales, de 5 places chacune ; elles mesurent d'ordinaire entre 7 et 9 m. de longueur sur deux essieux ; pour les voitures à bogies, on va jusqu'à 10 ou 12 m.

Les plates-formes ont de 1,00 à 1,40 m. de longueur ; la dimension la plus habituelle est de 1,20 m. environ[1]. Ces plates-formes vont en se rétrécissant vers les extrémités, de manière à permettre l'effacement des marche-pieds d'accès et à éviter ainsi les accidents. Elles se terminent par un tablier en tôle, contre lequel sont placés tous les appareils du réglage de la vitesse et de commande des freins, du signal avertisseur, des sablières, etc.

Les voitures de tramways américaines se distinguent avantageusement des nôtres par une largeur et une hauteur plus grandes.

La largeur de la caisse est d'ordinaire comprise entre 2,20 et 2,30 m. ; ce dernier chiffre est même dépassé dans certaines voitures à bogies.

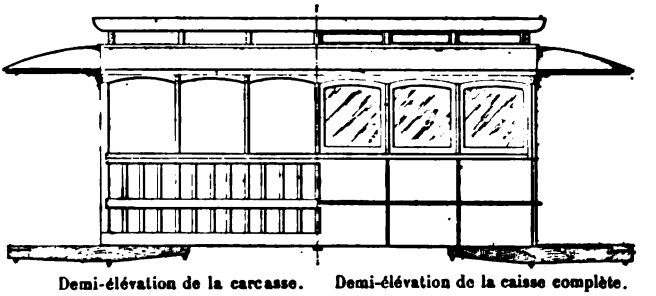
La hauteur intérieure atteint 2,30 à 2,40 m., au centre de la voiture, et la hauteur extérieure, comptée depuis le dessous des longerons jusqu'au-dessus du toit, s'élève à 2,60 ou 2,70 m.

Les longerons eux-mêmes ont leur partie inférieure à 0,68 m. ou 0,70 m. de distance maxima du niveau des rails dans les voitures à deux essieux avec roues de 0,84 m. Dans les voitures à bogies ils doivent être surélevés pour permettre aux roues de passer par-dessous dans les mouvements de pivotement du truck, à moins qu'on n'écarte ces longerons suffisamment pour que le déplacement des

[1] Les grandes plates-formes facilitent beaucoup l'entrée et la sortie des voyageurs et augmentent notablement la capacité de transport de la voiture en cas d'affluence ; mais, avec des plates-formes par trop grandes, on risque d'avoir une mauvaise répartition de la charge, surtout par les temps de pluie, lorsque la plate-forme d'arrière est seule occupée. La dimension des plates-formes doit, du reste, varier suivant la nature du trafic ; pour le trafic urbain à faible parcours, on a reconnu que la largeur de 1,20 m. était celle qui donnait les meilleurs résultats.

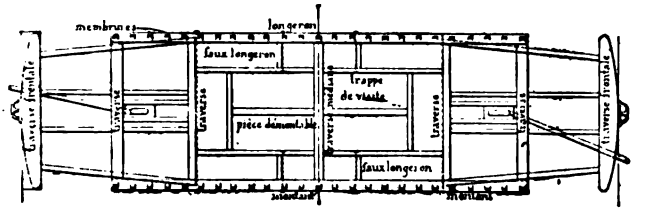
Digitized by Google

roues reste compris dans leur intervalle. Comme nous l'avons dit plus haut (p. 289), les trucks dits à adhérence maxima permet-

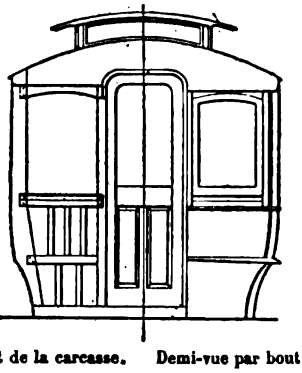


Demi-élévation de la carcasse. Demi-élévation de la caisse complète.

Longeron armé.




Plan du châssis.



Demi-vue par bout de la carcasse. Demi-vue par bout de la caisse complète.

Fig. 291. — Détails de construction d'une caisse américaine.

tent de placer le plancher de la caisse presque aussi bas que les trucks à deux essieux. Sur les tramways urbains, on s'attache à ne pas dépasser 0,70 m. pour la hauteur de la plate-forme au-dessus



Digitized by Google

des rails. Le marchepied est toujours à une seule marche, qui se trouve à 0,35 m. environ du sol ; il y a de plus, en général, un seuil de 0,12 à 0,18 m. à franchir pour pénétrer de la plate-forme dans l'intérieur.

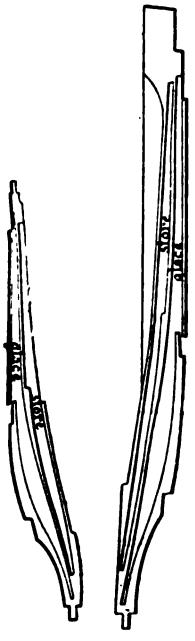



Fig. 292 et 293. — Montants d'angle et de côté.

**Mode de construction.** — Les caisses américaines se font toujours en bois.

La figure 291 montre le mode de construction d'une caisse d'automobile fermée à deux essieux.

Le châssis inférieur, sur lequel repose toute l'ossature, est constitué par deux longerons ou brancards en chêne blanc ou en pitchpin, de 10/15 cm. à 10/18 cm. d'équarrissage, reliés par deux traverses extrêmes de mêmes dimensions transversales, une traverse médiane plus forte et deux traverses intermédiaires.

De faux longerons, réunis aux poutres longitudinales par des traverses courtes, forment avec les traverses intermédiaires et centrale le cadre des trappes de visite.

Toute cette charpente est consolidée par des tirants en fer. Pour empêcher la caisse de donner du nez, on renforce les brancards par une armature en fer rond soutenue par des poinçons en fonte et dissimulée sous les banquettes longitudinales ou dans les cloisons de la caisse. On ajoute aussi souvent un fer plat sur la face extérieure du brancard.

Les ouvertures qu'on est obligé de ménager dans le plancher pour permettre la visite des moteurs empêchant d'entretoiser diagonalement la charpente, les assemblages des brancards avec les traverses doivent être raidis au moyen d'équerres ou d'écharpes.

Les plates-formes, toujours rapportées, reposent sur quatre pièces de bois en encorbellement, dont la forme rappelle celle des poutres d'égale résistance ;

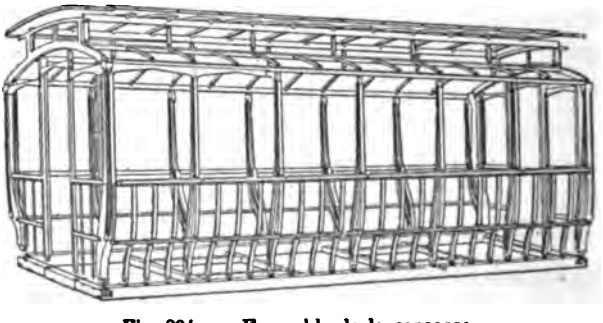


Fig. 294. — Ensemble de la carcasse.

ces pièces sont suspendues aux traverses extrêmes du châssis par des étriers et des boulons, et réunies à leur extrémité antérieure par une traverse frontale.

Digitized by Google

La barre d'attelage est habituellement articulée sur la charpente de la plate-

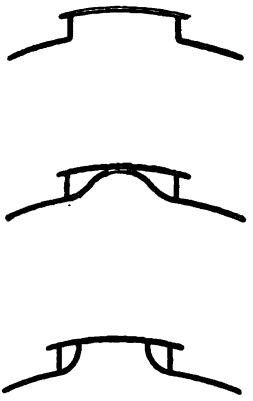


Fig. 295. — Formes de pavillon.

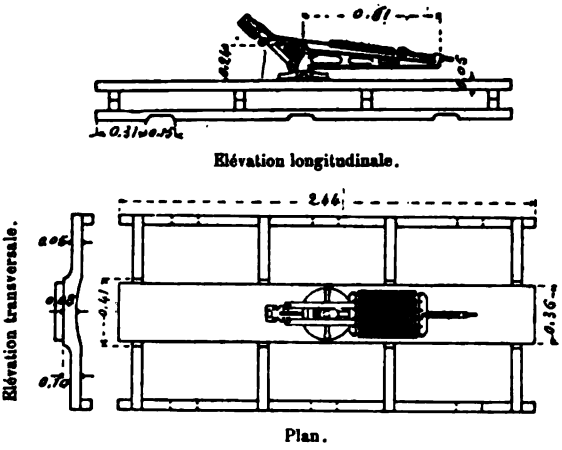


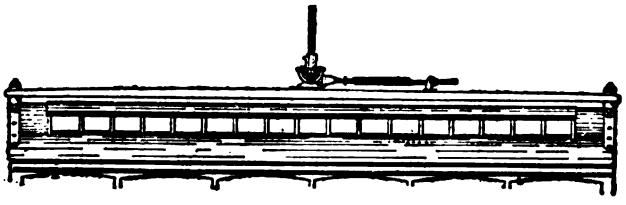

Fig. 296. — Support de trôlet (General Electric Co).

forme et non sur le châssis du truck, ce qui serait, à notre avis, préférable.

Sur les brancards viennent s'assembler à tenon et mortaise les montants qui

Fig. 297. — Toit renforcé pour supporter le trôlet.

forment l'ossature des parois latérales de la caisse ; ces montants (fig. 292), généralement en frêne, ont 3 à 4 cm. d'épaisseur, à l'exception des pièces



Elévation longitudinale.

Coupe transversale.

Fig. 298. — Autre mode de support du trôlet.

cornières (fig. 293), qui mesurent au moins 9/13 cm. ; leur assemblage avec les longerons est complété par une bride en fer.

Digitized by Google

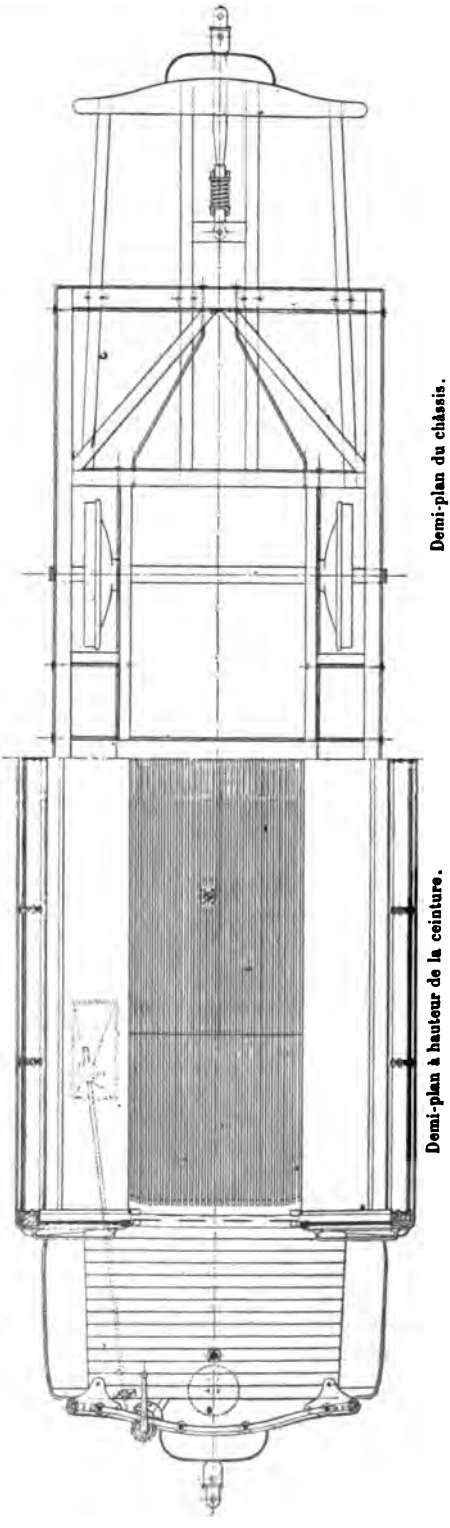



Fig. 299. — Voiture typique américaine à deux essieux (caisse de 18 pieds de longueur).

Les constructeurs américains sont restés plus fidèles que les nôtres à la forme galbée pour les parois latérales de la caisse ; ils estiment que ce bombement procure un accroissement de rigidité qui est loin d'être négligeable pour des véhicules exposés, comme sont les voitures de tramways à quatre roues, à des efforts dans tous les sens, notamment dans le sens transversal, parfois même à des efforts de torsion. Les montants ont par suite une double courbure. Des rainures pratiquées dans leurs faces latérales servent au passage des glaces et des stores.

Les chambranles des portes subissent peu de fatigue ; ils doivent néanmoins avoir une section assez forte pour qu'on puisse y creuser une rainure pour le passage d'un tirant reliant la toiture au plancher et une autre pour les conducteurs électriques.

Les montants sont entretoisés par trois ceintures, qui courent dans toute la longueur de la caisse, au-dessus et au-dessous des baies des fenêtres, et à la hauteur où la courbure de la paroi change de sens. Ils sont réunis en outre à leur partie supérieure par le battant de pavillon, sur lequel reposent les courbes du toit.

La figure 294 représente la carcasse achevée.

Le panneautage extérieur est un peuplier d'Amérique, bois à grain très fin, qui, posé bien sec, prend bien la peinture et ne joue jamais, ni à la chaleur ni à l'humidité. Les

Digitized by Google

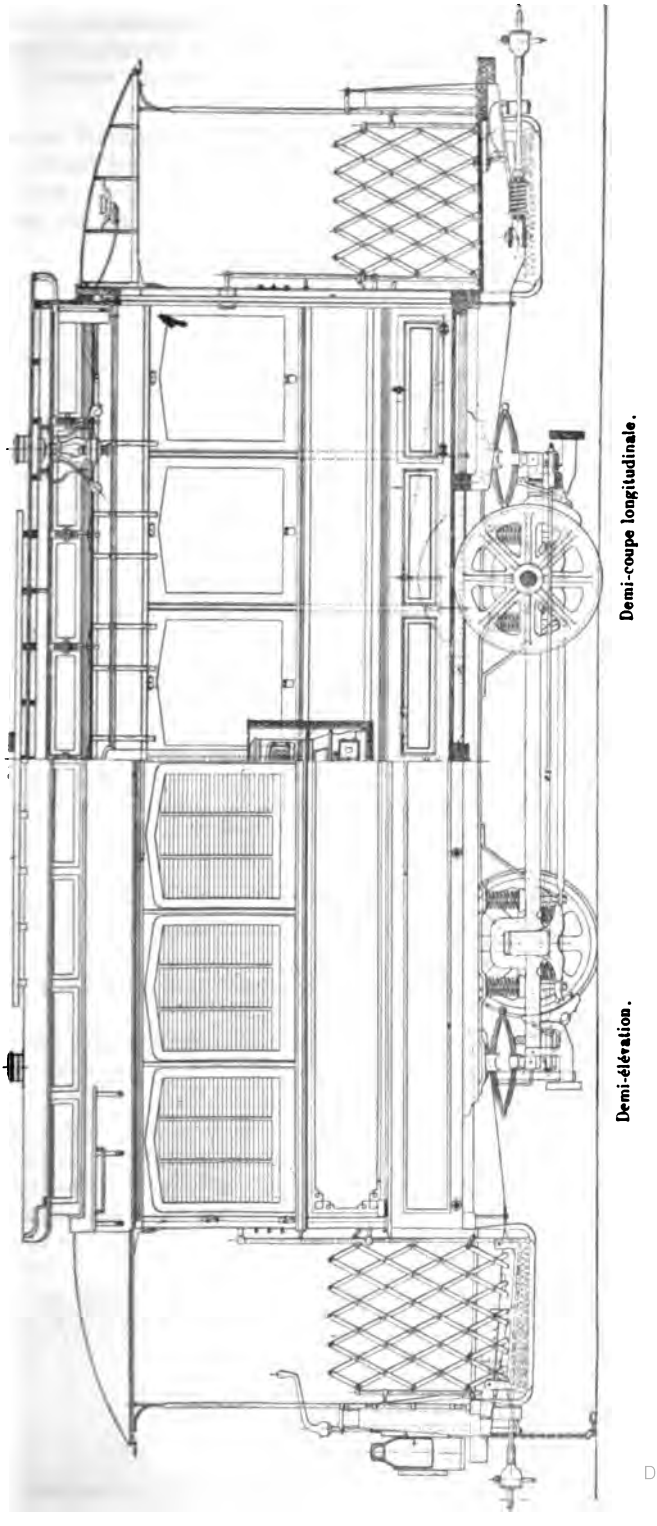



Fig. 299. — Voiture typique américaine à deux essieux.

Digitized by Google

panneaux sont renforcés par des nervures en bois rapprochées ; ils sont collés sur ces nervures, ainsi que sur tous les montants et ceintures, et doublés intérieurement d'une forte toile également collée, qui ajoute encore à leur résistance.

Pour faciliter la ventilation et l'éclairage, le pavillon a toujours sa partie centrale surélevée sous forme de lanterneau à châssis mobiles régnant sur toute la longueur de la caisse. Les courbes de pavillon, se trouvant ainsi brisées par le lanterneau, doivent être consolidées par des pièces en fer, afin de

Demi-coupe transversale. Demi-vue par bout.

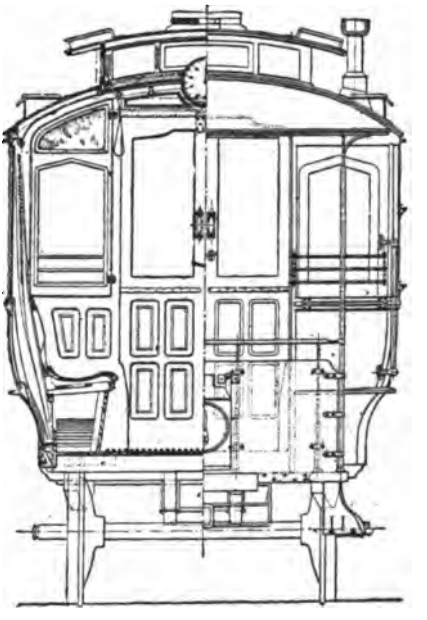


Fig. 299. — Voiture typique américaine à deux essieux.

pouvoir supporter le poids du trôlet ; elles affectent l'une des formes représentées par la figure 295.

Le trôlet est habituellement monté sur une sorte de pont distribuant le poids et les efforts sur plusieurs courbes. La figure 296 donne comme exemple le mode de montage de la General Electric Co.

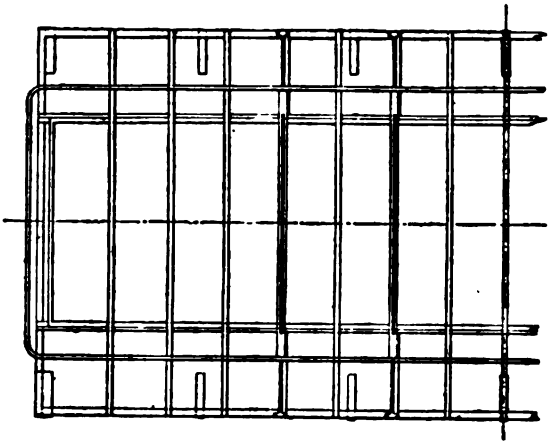
Quand l'ossature du toit n'offre pas une résistance propre suffisante, on peut la renforcer, par exemple en armant les parois latérales du lanterneau au moyen d'un tirant soutenu par les poinçons (fig. 297), ou bien l'on soulage la partie centrale du toit en montant le trôlet sur deux forts madriers reposant à leurs extrémités sur les parois antérieure et postérieure de la caisse par des tampons en caoutchouc (fig. 298).

La toiture est en bois comme tout le reste ; elle est formée de voliges minces jointives ou mieux de feuilles d'un seul morceau, et recouverte de toile forte rendue imperméable par la peinture.

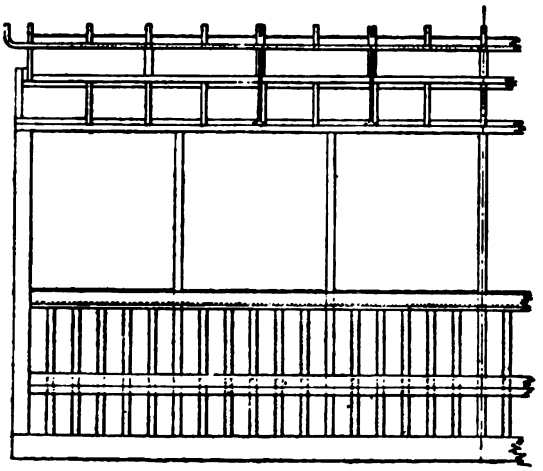
Digitized by Google

L'auvent de protection des plates-formes ne fait généralement pas partie intégrante du toit ; il est mis en place après coup.

Les assemblages des différentes pièces entre elles sont toujours faits avec le



Plan de l'ossature (la partie inférieure étant enlevée).



Elévation de l'ossature.

Fig. 300. — Voiture typique américaine à deux essieux. — Détails de l'ossature.

plus grand soin. Ils sont tous collés, ce qui assure une rigidité et une conservation bien supérieures à ce qu'on peut obtenir avec l'assemblage ordinaire, soit à chevilles, soit à vis. Les assemblages principaux sont, en outre, complétés par des pièces d'angle, cornières, équerres, etc., en tôle d'acier emboutie. On

Digitized by Google

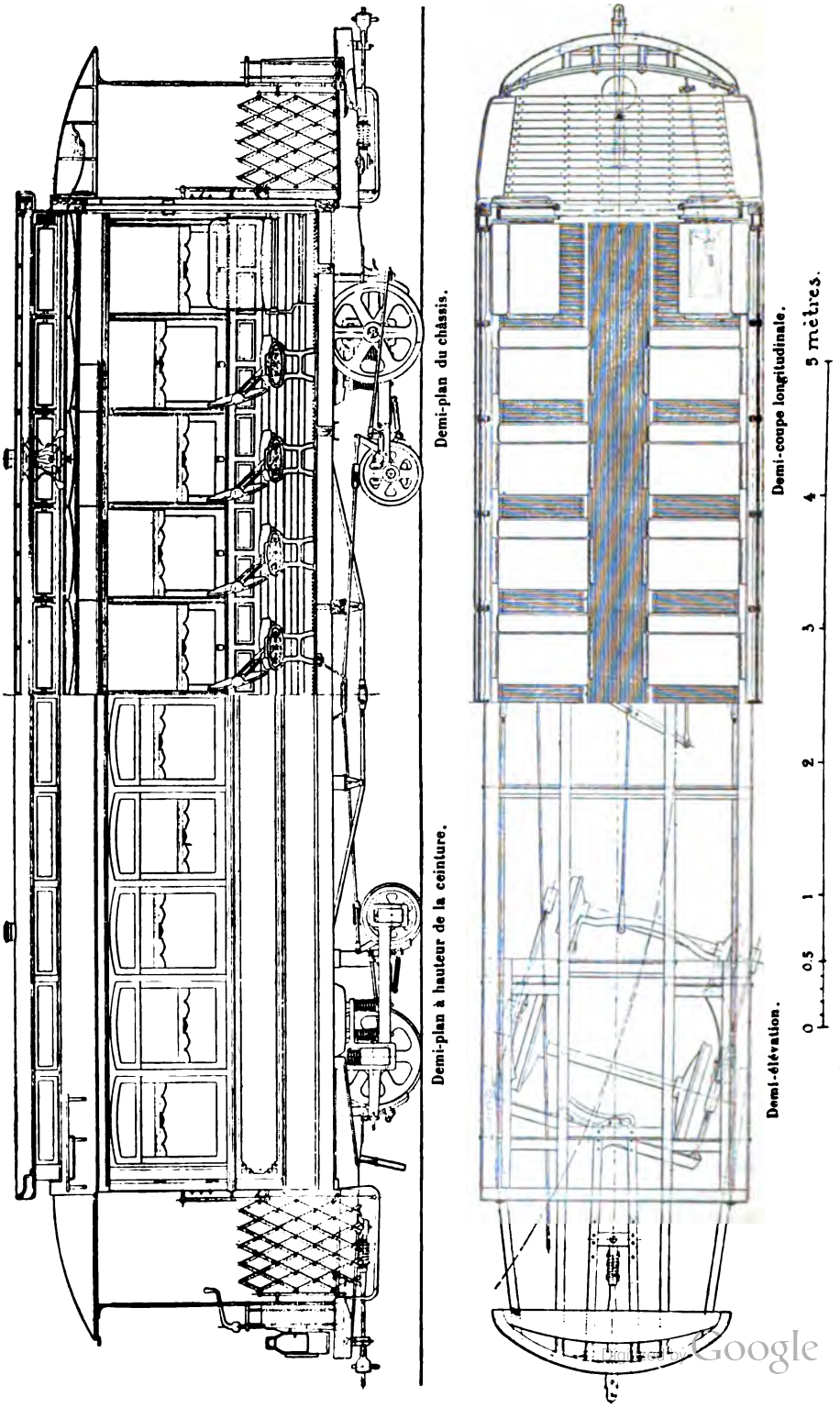



Fig. 301. — Voiture typique américaine à bogies (caisse de 24 pieds de longueur).

Digitized by Google

ne saurait en effet prendre trop de précautions contre les chocs et efforts de toute nature qui tendent à disloquer la charpente des automobiles électriques, surtout si l'on songe que, dans ces voitures, le poids utile forme une fraction du poids mort très importante, beaucoup plus grande que dans les voitures de chemins de fer[1], et qu'en outre une grande partie de la charge est en général en porte à faux sur les plates-formes, ce qui accroît l'effet des chocs en proportion du bras de levier ainsi formé.

Le travail est généralement très fini. L'extérieur est peint en couleurs vives et entretenu avec le plus grand soin. Les intérieurs, beaucoup plus élégants que chez nous, sont garnis de velours et doublés en bois naturel sculpté à la machine.

On voit sur les figures 299 et 300 tous les détails de construction d'une voiture typique fermée à deux essieux, de 18 pieds de longueur de caisse.

La figure 301 donne les mêmes détails pour une voiture fermée à bogies de 24 pieds de longueur de caisse.

L'ossature de cette dernière est conçue à peu près comme celle de la précédente. Mais, la caisse n'étant plus supportée qu'en deux points écartés de 5 m. environ, on a dû armer très fortement les brancards pour leur permettre de résister à la charge; l'armature a été placée par dessous.

Lorsque la longueur de la caisse et l'écartement des pivots augmentent, ce mode de construction ne suffit plus et il faut faire concourir la caisse tout entière à la résistance, en constituant ses parois comme de véritables fermes. On rentre alors dans le système de construction ordinaire des caisses de chemins de fer américaines, dont nous dirons plus loin quelques mots (p. 360).

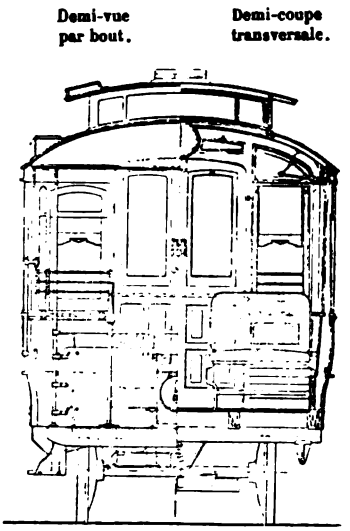



Fig. 301. — Voiture typique américaine à bogies.

La figure 302 représente une voiture ouverte employée sur les tramways de Boston.

Les voitures ouvertes étant ordinairement plus longues que les voitures fermées, on consolide leurs brancards en reliant chacune de leurs extrémités au châssis du truck par un tirant qui tend ces pièces comme un arc. Une armature de ce genre est représentée sur la figure 303.

[1] En Amérique, où le nombre des voyageurs n'est pas limité, le poids utile est souvent presque égal au poids propre de la voiture ; chez nous, il s'élève au moins à 30 ou 40 p. 100 de ce poids, tandis que, sur les chemins de fer, la proportion atteint à peine 10 p. 100.

Digitized by Google

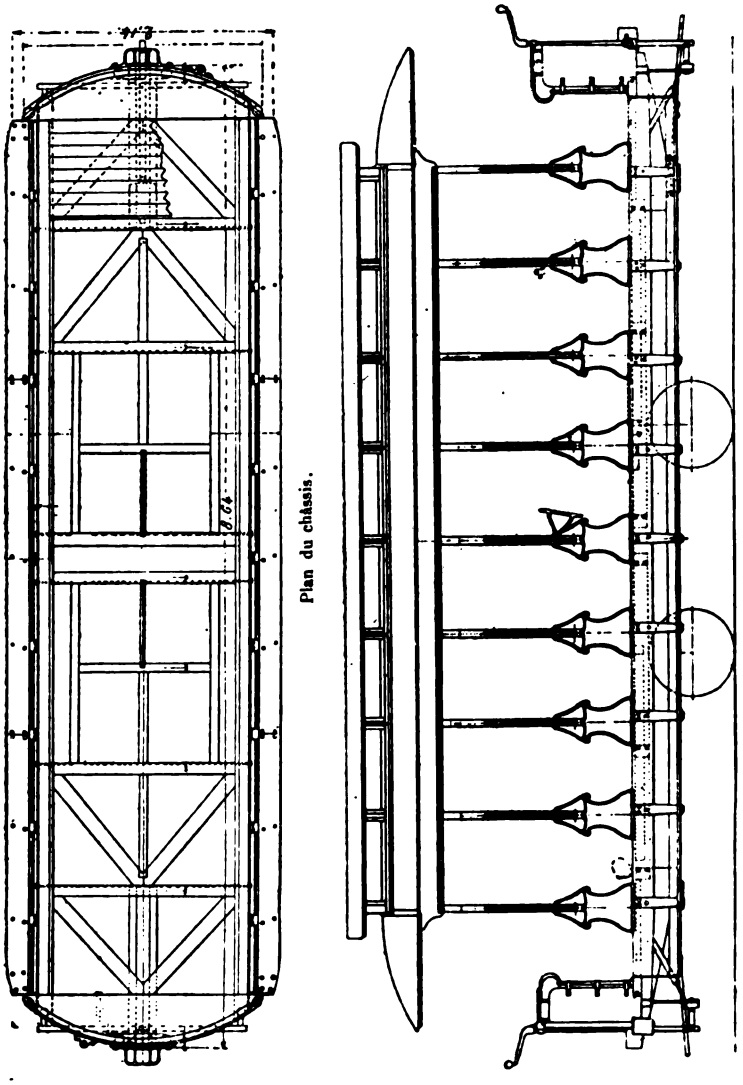



Fig. 302. — Détails de construction d'une caisse ouverte.

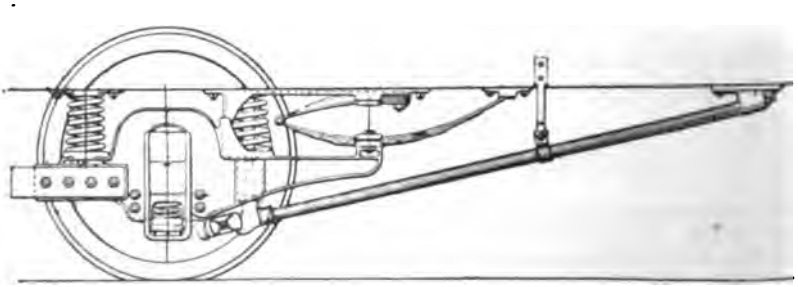


Fig. 303. — Armature pour caisses extra-longues.

Digitized by Google

### MATÉRIEL EUROPÉEN

Les détails que nous venons de donner sur le matériel roulant en usage sur les tramways des Etats-Unis nous dispensent d'entrer dans de longs développements au sujet du matériel européen, qui en dérive d'une façon directe.

Les automobiles employées en Europe pour la traction électrique sont pour la plupart des voitures symétriques à caisse fermée et plates-formes ouvertes. D'une manière générale, on peut dire que ces voitures sont plus petites que les voitures américaines correspondantes : elles ne mesurent guère que 4 à 5 m. de longueur de caisse et 7 à 8 m. de longueur totale ; elles contiennent 16 à 20 places assises à l'intérieur [1] et un nombre variable (5 à 15) de places debout sur chacune des plates-formes, dont la longueur est ordinairement comprise entre 1 m. et 1,50 m. Leur poids à vide, sans moteurs ni appareils électriques, varie habituellement de 4,5 à 5,5 t.

Ces voitures sont pour la plupart moins spacieuses que les voitures américaines : la largeur extrême de la caisse n'est que de 2,10 m. environ pour les voitures à voie large et de 2 m. pour les voitures à voie de 1 m. ; la hauteur intérieure dépasse rarement 2,30 m. dans la partie centrale et n'est souvent que de 2 m. ; on tend du reste à l'augmenter dans les voitures récentes. La hauteur totale, comptée depuis le rail jusqu'à la partie supérieure du toit, est en général de 3,00 à 3,30 m. pour les voitures sans impériale et de 4,20 à 4,50 m. pour les voitures à impériale [2].

Un autre défaut que présentent fréquemment les automobiles

[1] La largeur de la place affectée à chaque voyageur doit être d'au moins 0, 45 m., d'après l'ordonnance du 15 novembre 1846.

[2] Le maximum autorisé par le décret du 6 août 1881 pour la largeur des caisses de véhicules de tramways est de 2,80 m. pour la voie normale de 1,44 m. ; pour cette voie, la largeur extrême du matériel roulant, toutes saillies comprises, ne doit pas dépasser 3,10 m. et la hauteur ne doit pas excéder 4,20 m.

Pour la voie de 1,00 m., le cahier des charges type pour la concession des tramways fixe à 2,50 m. et 2,80 m. respectivement les maxima de largeur admissibles pour la caisse et le gabarit.

Mais en fait, comme nous venons de le dire, la différence de largeur entre les caisses des voitures à voie de 1,00 m. et celles des voitures à voie de 1,44 m. ne dépasse guère une dizaine de centimètres, ce qui est trop peu pour entraîner une différence dans la capacité des voitures.

Digitized by Google

européennes, c'est d'avoir leur plancher trop élevé et de nécessiter deux marches d'accès aux plates-formes.

Ces plates-formes sont rarement vestibulées. Cette disposition jouit cependant d'une certaine faveur en Hongrie, où la maison Siemens et Halske l'a appliquée à Budapest, la maison Ganz à Pressbourg, Neupest, etc.

On ne rencontre pas en Europe de voitures électriques à bogies sur les tramways proprement dits, et les voitures ouvertes, d'un usage si général aux Etats-Unis, sont encore assez rares; ces dernières ont pourtant été introduites avec succès, au moins comme voitures remorquées, dans un certain nombre de villes, notamment à Lyon, Bruxelles, Berlin, Budapest, Dresde, etc.

Par contre, l'emploi des voitures à impériale est fréquent, principalement en France et en Angleterre. Il y a là une question de goût public qu'il est délicat de discuter. Il faut bien reconnaître cependant que l'accession aux sièges d'impériale des voyageurs de tout âge et de tout sexe n'est pas faite pour accélérer la vitesse commerciale, et que le poids additionnel porté par la toiture développe sur le bâti du véhicule des efforts très violents aux départs et aux arrêts. Aussi, lorsque les nécessités de trafic ne la réclameront pas absolument, fera-t-on bien de proscrire l'impériale sur les lignes électriques. On prétend que l'impériale est devenue une habitude impossible à déraciner ; mais la façon dont les Parisiens se sont accommodés des plates-formes des voitures de tramways et d'omnibus, la vogue dont jouissent dans les grandes villes de province les voitures électriques du type américain, montrent que les populations se font, en réalité, assez vite aux nouveaux modes de transport qu'on met à leur disposition, sans opposer la résistance qu'on leur suppose bien gratuitement.

Si d'ailleurs on veut, tout en supprimant l'impériale, conserver la division habituelle en deux classes, il est facile de le faire en séparant la caisse en deux compartiments par une cloison munie d'une porte à coulisse ou, plus simplement, en fixant des tarifs différents pour l'intérieur et pour les plates-formes.

En ce qui concerne la construction même des caisses, la pratique européenne diffère surtout de la pratique américaine par l'emploi moins exclusif du bois.

Digitized by Google

Le châssis inférieur est souvent d'un système mixte où le bois et le fer sont employés simultanément, ou même complètement en fer. Lorsque les brancards sont métalliques, ils sont fréquemment prolongés au delà de la caisse pour former les plates-formes, qui deviennent ainsi la continuation du châssis, au lieu d'être constituées par des pièces en encorbellement simplement suspendues à la caisse. Le fer remplace aussi quelquefois le bois pour les montants. Enfin, les panneaux extérieurs se font presque toujours en tôle mince.

Cet emploi du métal dans la construction de la caisse est rationnel, et, notamment en ce qui concerne la constitution du châssis, nos constructeurs ont eu raison de ne pas imiter servilement la pratique américaine, qui présente certains inconvénients. Les plates-formes portées sur des consoles assemblées seulement au moyen de boulons et d'étriers avec les traverses extrêmes du châssis ont toujours une tendance à donner du nez ; en cas de collision, on les voit parfois rentrer sous la caisse ou même se détacher tout d'une pièce. La prédilection exclusive des constructeurs américains pour le bois, qui s'explique par l'abondance et la variété des essences propres à la construction qu'on rencontre dans l'Amérique du Nord, ainsi que par l'habileté extrême des ouvriers, n'aurait pas de raison d'être en Europe, où le bois coûte beaucoup plus cher.

**Exemples.** — Nous donnons ci-après quelques exemples de voitures européennes.

Sans nous attarder à la description du matériel déjà vieilli des lignes de Clermont-Ferrand, de Marseille, de Dijon, etc., nous citerons en premier lieu, comme bon spécimen de la construction française moderne, les voitures du Havre (fig. 304), qui sont montées sur des trucks genre Taylor à double suspension. L'intervalle entre la caisse et les longerons du truck, qu'on laisse généralement vide, se trouve ici masqué par un panneau formant prolongement de la paroi.

La caisse de la voiture est divisée en deux classes par une cloison munie d'une porte à coulisse; elle est surmontée d'un lanterneau à 16 châssis mobiles. On accède aux plates-formes par quatre marchepieds latéraux à une seule marche et à la caisse par une marche supplémentaire de 0,20 m. de hauteur.

Cette voiture sort des ateliers de la *Compagnie française de Matériel de Chemins de fer*, qui en a construit d'analogues pour les tramways de Rouen, de Lyon-Oullins, de Belgrade, etc.

La voiture du Havre a 50 places (10 de première classe, 10 de seconde,

Digitized by Google

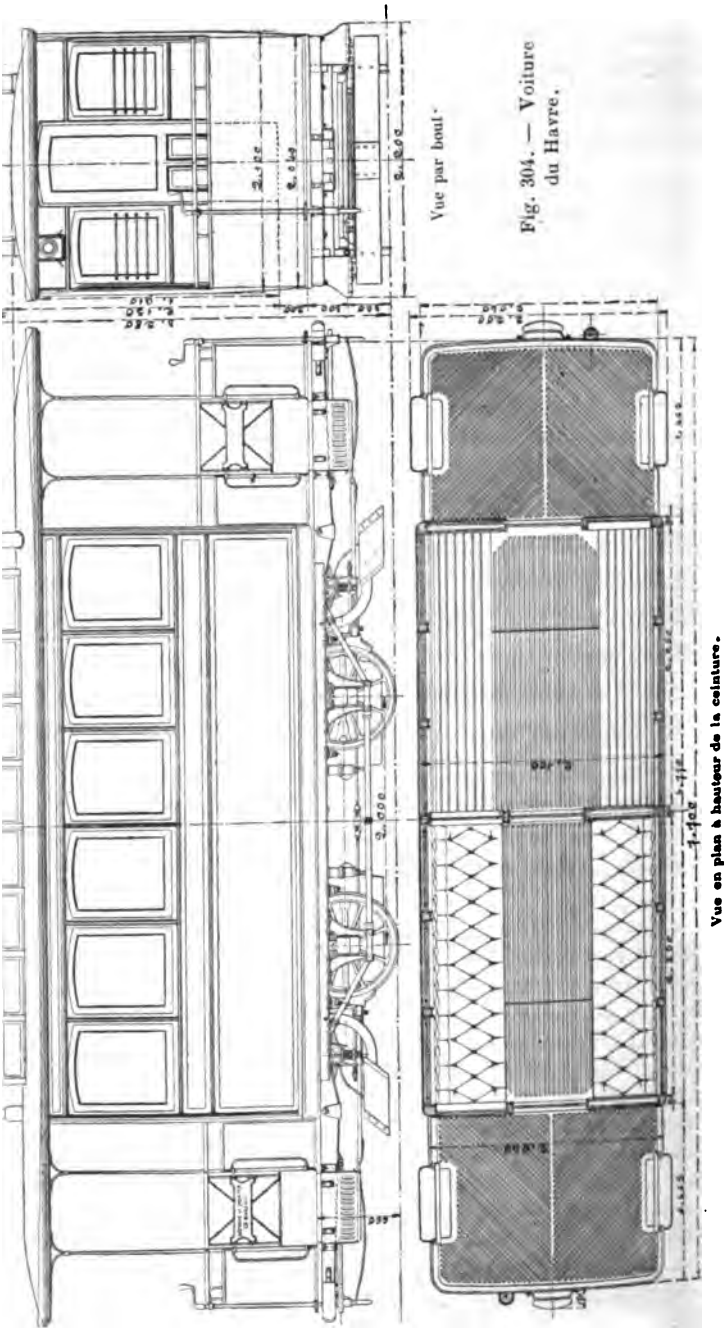
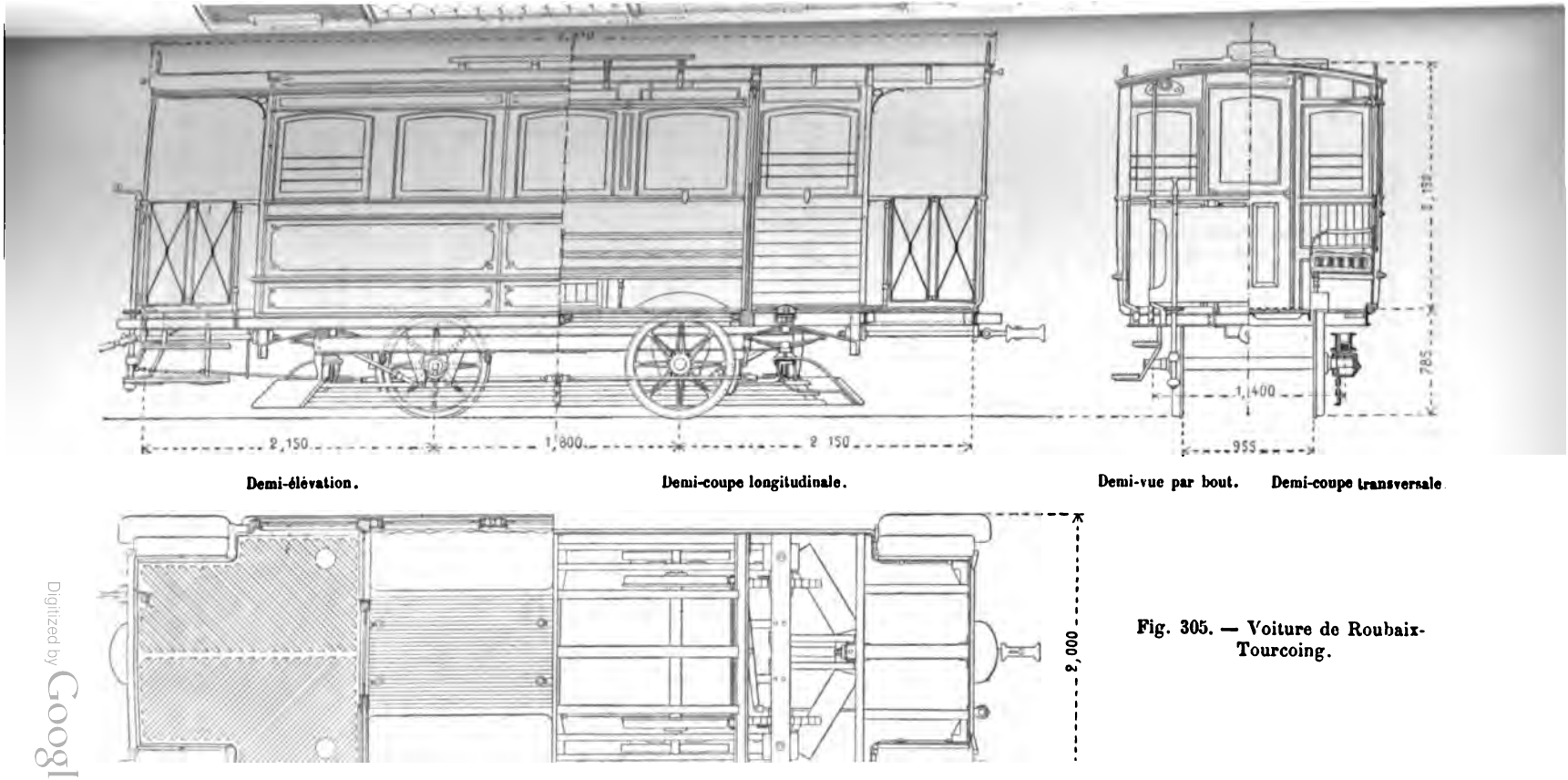



Fig. 304. — Voiture du Havre.

Digitized by Google




Demi-élévation. Demi-coupe longitudinale. Demi-vue par bout. Demi-coupe transversale.

**Fig. 305. — Voiture de Roubaix-Tourcoing.**

Digitized by Google

30 de plates-formes) ; elle pèse 4 990 kg. sans appareils électriques ni moteurs, et coûte de 6 500 à 7 500 fr., suivant le luxe intérieur.

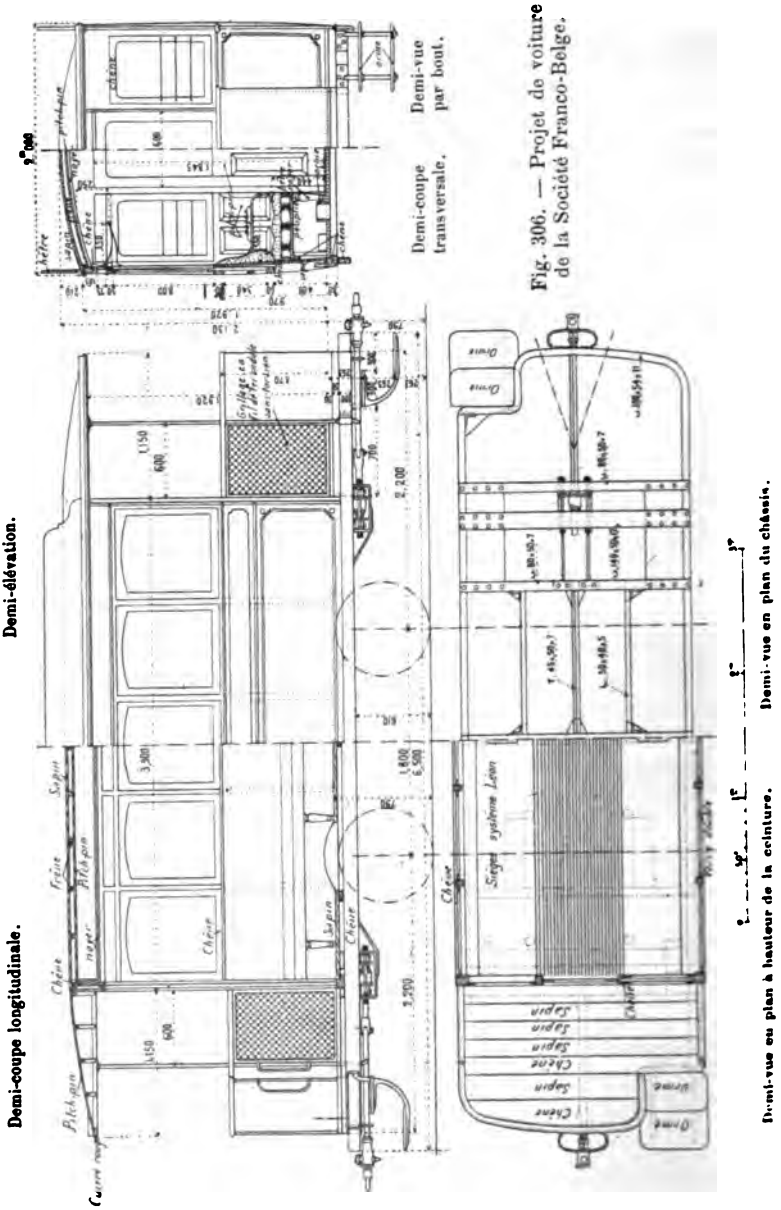



Fig. 306. — Projet de voiture de la Société Franco-Belge.

Le type de Rouen (40 places, dont 10 de première classe, 10 de deuxième et 20 de plates-formes) pèse un peu moins, 4 760 kg., et coûte le même prix.

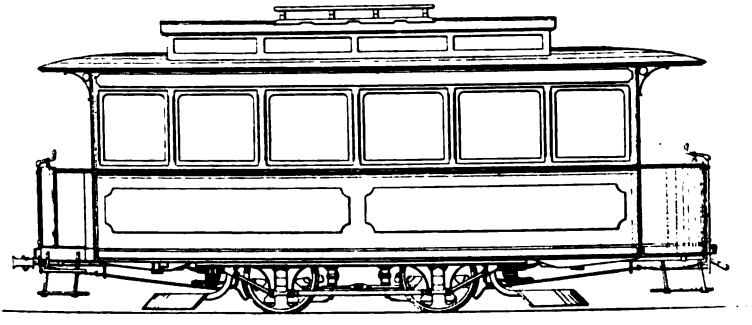
Digitized by Google

Celui de Lyon, à 42 places (16 de première classe, 8 assises de deuxième et 18 debout de plates-formes), pèse 5 760 kg. et coûte de 6 800 à 7 800 fr.

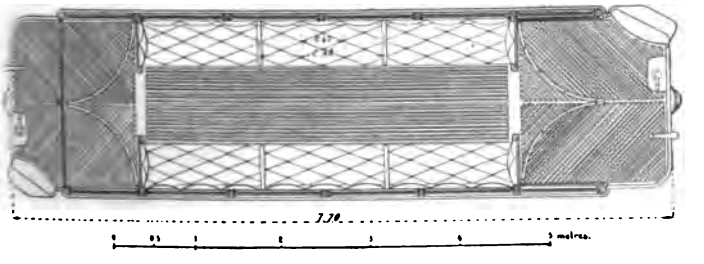
Enfin celui de Belgrade (20 places d'intérieur et 30 de plates-formes) pèse 5 350 kg. et coûte de 5 500 à 6 500 fr. Ce dernier est à voie de 1 m.

La voiture du tramway de Lyon-Ecully, dons nous avons donné plus haut les plans (fig. 245, p. 272), construite par les *Chantiers de la Buire* et également à voie de 1 mètre, contient 36 places (10 à l'intérieur, 8 assises sur les plates-formes et 18 debout) ; elle pèse 5 500 kg. environ, sans moteurs, ce qui est excessif pour une voiture de cette capacité. Son prix est de 8 200 fr.

Les figures 305 et 306 montrent deux autres types à voie étroite.



Élévation.



Plan.

Fig. 307. — Projet de voiture pour la ligne Bastille-Charenton.

La caisse des voitures de la ligne Roubaix-Tourcoing (fig. 305), qui sort d *Ateliers de construction du Nord de la France*, contient 28 voyageurs et pè 4 500 kg. sans moteurs ; son prix, y compris l'équipement électrique, e d'environ 14 000 fr. Elle offre un bon exemple de châssis métallique s'étenda sur toute la longueur de la voiture. Ce châssis est constitué par des longero en forme de E, réunis entre eux par des traverses extrêmes et médiane en f et des traverses intermédiaires en bois, et sur lesquels viennent s'appuy les brancards de la caisse proprement dits.

La caisse de la *Société franco-belge pour la construction de matériels Chemins de fer* représentée par la figure 306 est aussi à 28 places (16 intérieure



Digitized by Google

12 sur les plates-formes). De même que la précédente, elle comporte un châssis métallique, composé ici de longerons en fer à ⊔ dont le creux est rempli

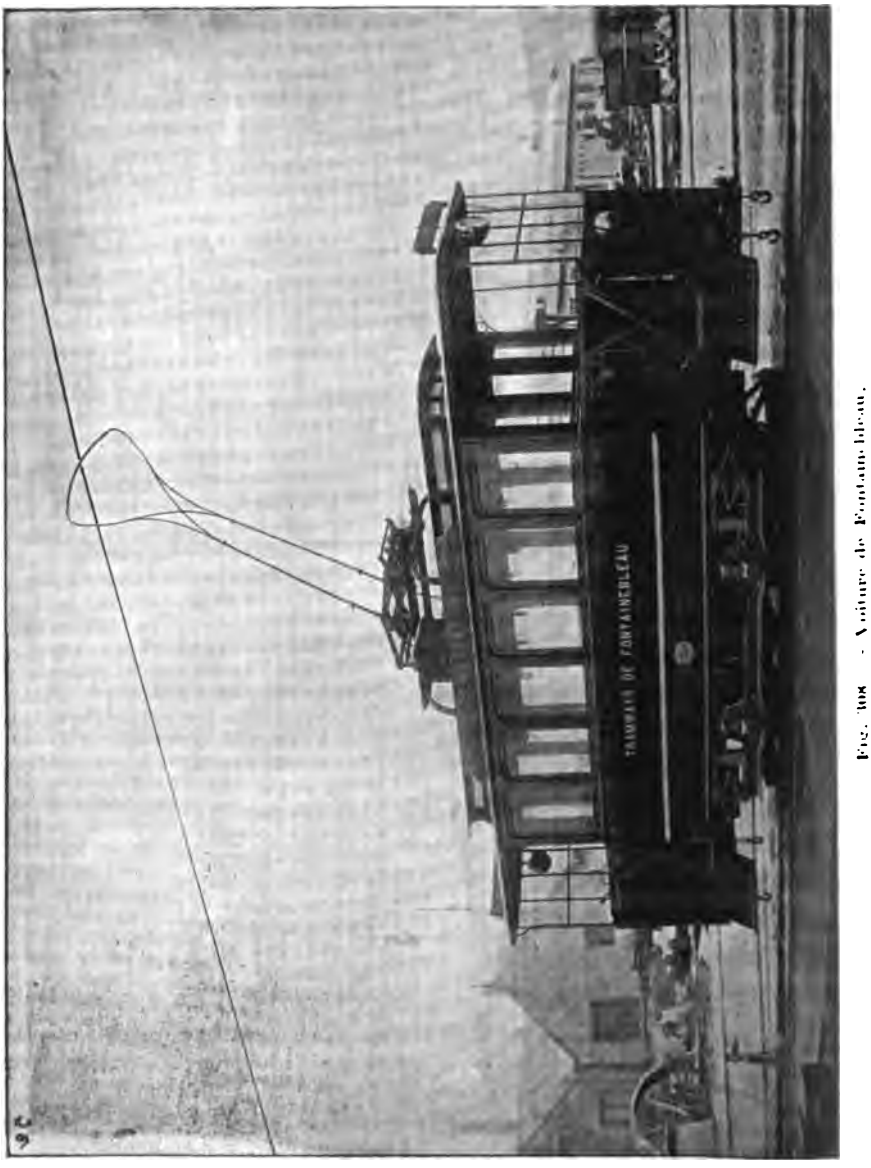



Fig. 108. — Voiture de Fontainebleau.

par une fourrure en chêne ; ces longerons sont entretoisés par d'autres fers à ⊔ et supportent des brancards en bois sur lesquels s'assemblent les montants.

Digitized by Google

Cette caisse pèse 2 784,100 kg. (dont 183 800 kg. pour les appareils de choc et de traction, 60,300 kg. pour la garniture et 2 450 kg. pour la caisse proprement dite). Montée sur un truck genre Taylor, la voiture complète, mais sans équipement électrique, pèse 4 450 kg.

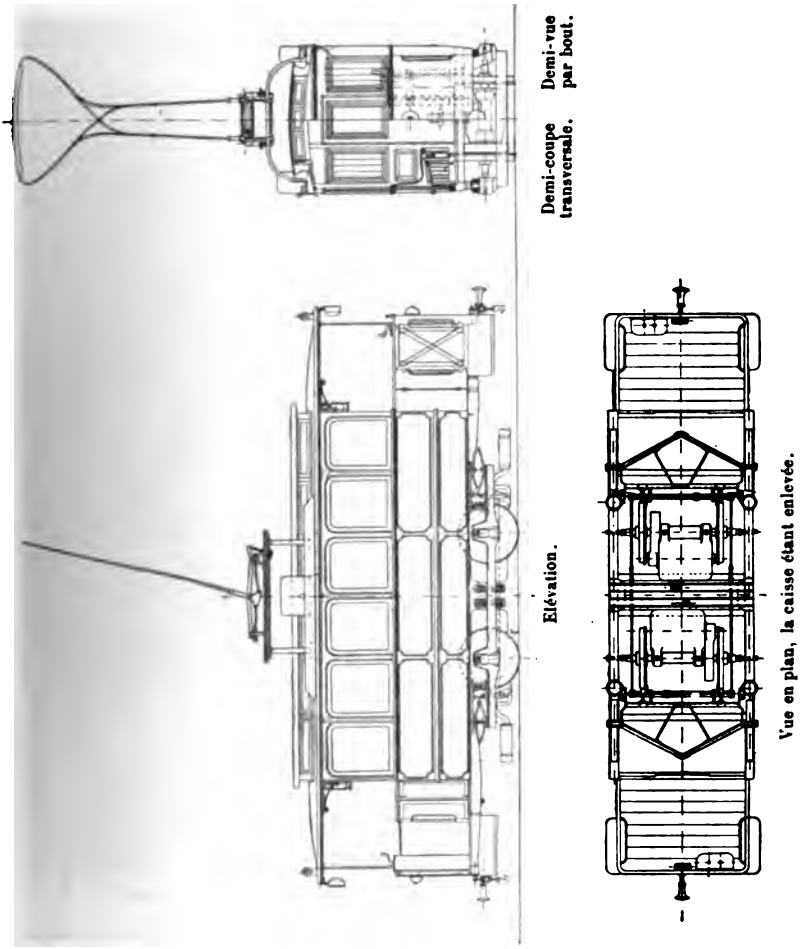



Fig. 309. — Voiture de Fontainebleau. — Echelle 1/100.

La figure 307 montre un type intéressant et nouveau d'automobile électrique projeté par la Compagnie générale parisienne de Tramways pour la ligne Bastille-Charenton : dans le but de satisfaire aux prescriptions administratives, qui imposent à Paris l'obligation de séparer absolument le mécanicien du public et de préserver les voyageurs d'intérieur des courants d'air se produisant habituellement dans les voitures à deux entrées, les plates-formes ont été munies latéralement de cloisons fixes en prolongement des parois de la caisse et régnant sur la moitié environ de leur longueur ; la portion de la plate-forme ainsi encadrée peut être close complètement par une porte double dont les

Digitized by Google

battants sont rabattus en temps ordinaire contre les cloisons. En fermant la porte de la plate-forme avant, on isole à la partie antérieure de cette plate-forme un espace où le mécanicien prend seul place, la partie postérieure res-

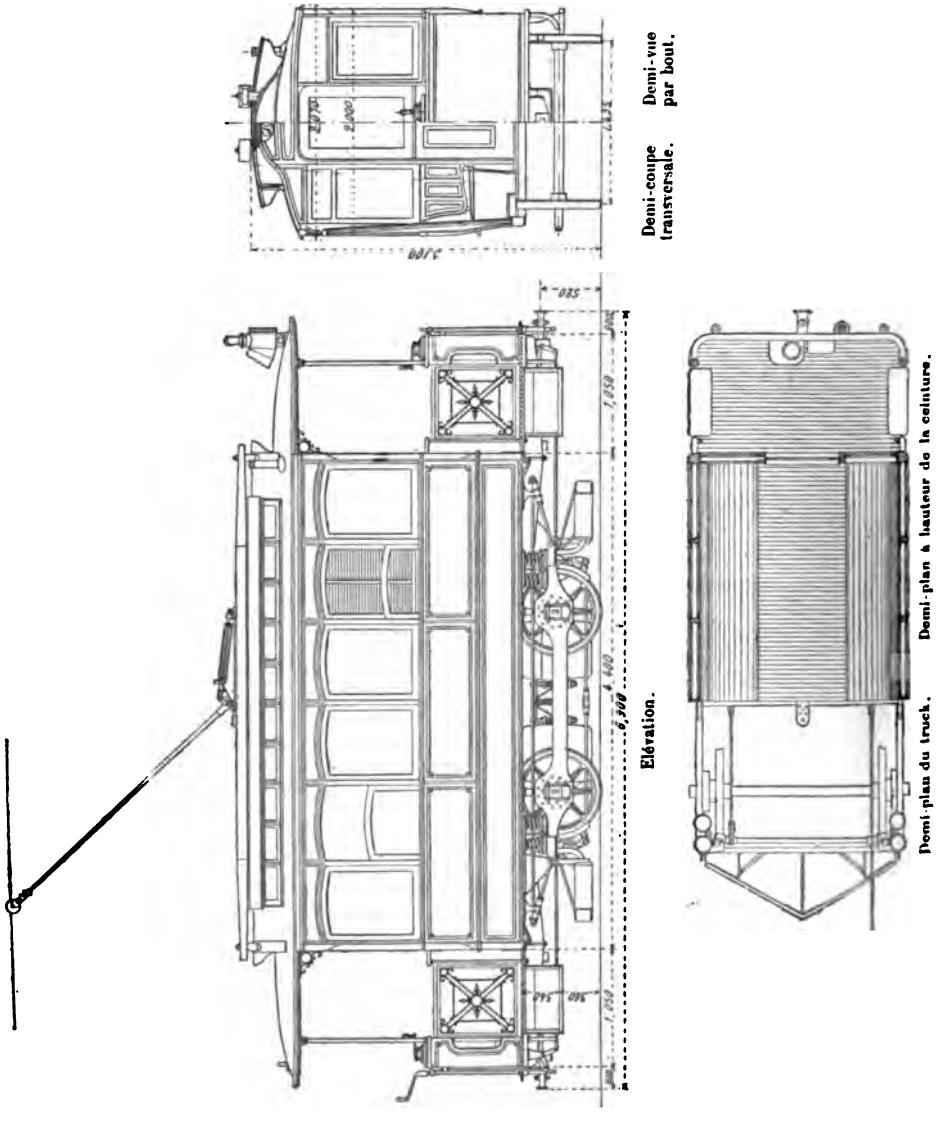



Fig. 310. Voiture de la Société Schuckert.

tant disponible pour recevoir un certain nombre de voyageurs debout qui y accèdent en passant par l'intérieur. Cette disposition ingénieuse a seulement pour inconvénient de réduire à un le nombre des accès à la voiture et par suite de rendre plus lentes l'entrée et la sortie des voyageurs.

Digitized by Google

Les figures 308 et 309, qui représentent la voiture de Fontainebleau, donnent une idée du matériel de la *Société alsacienne de constructions mécaniques*. Cette voiture, à voie de 1 m., contient 18 places assises et 16 places debout, et pèse 7 380 kg. complètement équipée, avec deux moteurs. La voiture du Puy, tout à fait analogue, contient 22 places assises, 18 places debout et pèse, dans les mêmes conditions, 7 560 kg.

Fig. 311. — Voiture de Romainville.

Ce type de voiture est celui que construit maintenant la maison *Siemens et Halske* et qu'elle a appliqué notamment aux nouvelles lignes de Berlin, Barmen, Budapest, etc.

Comme voitures de tramways allemandes, nous citerons encore celles de la Société *Schuckert*. La figure 310 montre un des modèles les plus récents de cette maison, d'une contenance de 30 places.

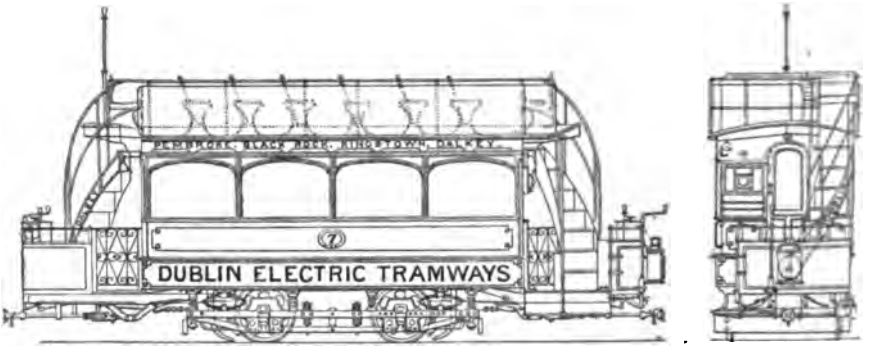
La même Société a établi autrefois des voitures à simple suspension et à châssis solidaire de la caisse, dont la voiture de Zwickau (p. 262) offre un exemple.

Des voitures tout à fait analogues comme construction à cette dernière sont

Digitized by Google

en service, en France, sur les tramways de Toulon ; la caisse repose sur des longerons en fer régnant sur toute la longueur du véhicule et recourbés aux extrémités pour permettre d'accéder aux plates-formes par une seule marche; ces voitures, construites par la maison *Desouches et David*, contiennent 18 places d'intérieur et 24 de plates-formes; elles pèsent 5 tonnes environ, dont 3,5 t. pour la caisse et son châssis, et coûtent 6000 fr., sans appareils ni agencement électrique.

En fait de voitures à impériale, nos lecteurs sont familiarisés avec les modèles français et il serait inutile de nous y arrêter si nous n'avions une critique à formuler contre le type spécial employé à Paris pour tous les genres de traction mécanique indistinctement et dont la figure 311 montre une application à la traction électrique. La construction dissymétrique de ces automo-




Elévation longitudinale. Elévation transversale.

Fig. 312. — Voiture de Dublin.

biles, qui ne permet la marche que dans un seul sens, crée des sujétions d'exploitation fort gênantes, car, lorsque la voiture a effectué le trajet d'aller, elle est obligée de passer sur une plaque tournante pour pouvoir effectuer celui de retour ; comme il serait coûteux et encombrant d'installer des plaques tournantes devant toutes les stations, on n'en place qu'aux deux extrémités, en sorte que, si un obstacle vient à barrer la voie, toute la ligne se trouve immobilisée. Avec des voitures symétriques, au contraire, un simple changement de voie de distance en distance suffit pour permettre aux voitures de n'effectuer qu'une partie du parcours, en cas de besoin, sans interrompre leur service.

Il est donc regrettable que la proscription dont sont l'objet à Paris les plates-formes d'avant à usage du public[1] forcent de renoncer aux facilités exceptionnelles que procurent les moteurs électriques pour la marche dans les deux sens.

[1] Avec la traction électrique, la place occupée par les appareils de manœuvre est si restreinte que cette proscription ne peut se justifier par les nécessités du service, et de fait on ne la trouve appliquée nulle part ailleurs. Du reste, si l'on craint que le public séjournant sur la plate-forme d'avant ne gêne le mécanicien, on peut isoler

Digitized by Google

Les automobiles parisiennes ont en outre le défaut d'être très lourdes relativement aux voitures électriques ordinaires et même aux voitures à impériale employées ailleurs : la voiture de Romainville, qui est à 52 places (20 à l'intérieur, 26 à l'impériale et 6 sur la plate-forme), pèse à vide, sans ses moteurs, 7,4 t. (dont 3,8 t. pour la caisse), alors que les voitures à 50 places du Havre pèsent à peine 5 t.

Un des meilleurs types d'automobiles anglaises à impériale, celui de Dublin-Dalkey, représenté par la figure 312 et qui contient 53 places (24 à l'intérieur et 29 à l'impériale), ne pèse que 5,5 t. Les voitures de Coventry (fig. 313 et 314), à 40 places assises, pèsent environ 4,3 t., celles de Bristol (43 places), 4,4 t., et celles du South Staffordshire (40 places), 4,5 t. Sur la ligne d'Hobart, qui est à voie de 1 m., on emploie des automobiles à impériale couverte contenant 48 places assises (24 à l'intérieur et 24 à l'impériale) et ne pesant également que 4,5 t.

Toutes ces voitures sont construites de façon à pouvoir circuler indifféremment dans les deux sens.

On remarquera de plus sur les figures 312 et 313 que les plates-formes sont aménagées avec une entrée et une sortie séparées pour les voyageurs d'intérieur et ceux d'impériale ; on évite de la sorte, au moins en partie, les encombrements qui se produisent trop souvent à l'entrée des voitures de tramways parisiennes.

**Poids des voitures électriques.** — La tare d'une automobile électrique s'obtient en ajoutant au poids total du truck et de la caisse celui des moteurs et accessoires électriques (rhéostat, régulateurs, etc.), qu'on peut compter largement à raison de 1 000 kg. environ par moteur de 15 chev., 1 200 kg. par moteur de 25 chev. et 1 400 kg. par moteur de 30 chev. (voir p. 188).

En général, on peut estimer, avec une approximation suffisante pour un avant-projet, que le poids d'une automobile ordinaire du

ce dernier par une barrière de protection comme on en voit sur certaines automobiles allemandes, où elle consiste en une simple lisse demi-circulaire, montée sur une tige qui s'enfonce dans une douille ménagée dans le plancher.

Quant aux courants d'air, gênants pour les voyageurs d'intérieur, qui se produisent lorsqu'on ouvre simultanément les deux portes d'entrée, on les évite facilement en tenant fermée la porte de séparation intérieure dans les voitures à deux classes, ou mieux encore en vestibulant les plates-formes : le dispositif de la figure 307 est déjà un acheminement vers cette dernière solution. On pourrait également munir la porte d'avant, suivant un procédé connu, d'un petit guichet par où le conducteur ferait sa perception sans ouvrir la porte tout entière.

Une autre solution consisterait à changer complètement la disposition ordinaire des voitures de tramways et à couper la caisse en deux parties qui s'ouvriraient sur une terrasse centrale avec marchepieds latéraux, comme cela a été essayé autrefois à Lille; le mécanicien se tiendrait sur une plate-forme étroite ménagée à chaque extrémité de la voiture et où il n'y aurait de place que pour lui seul; mais on se trouverait conduit, avec cette disposition, à allonger notablement la caisse, qui devrait forcément être montée sur bogies.

Digitized by Google

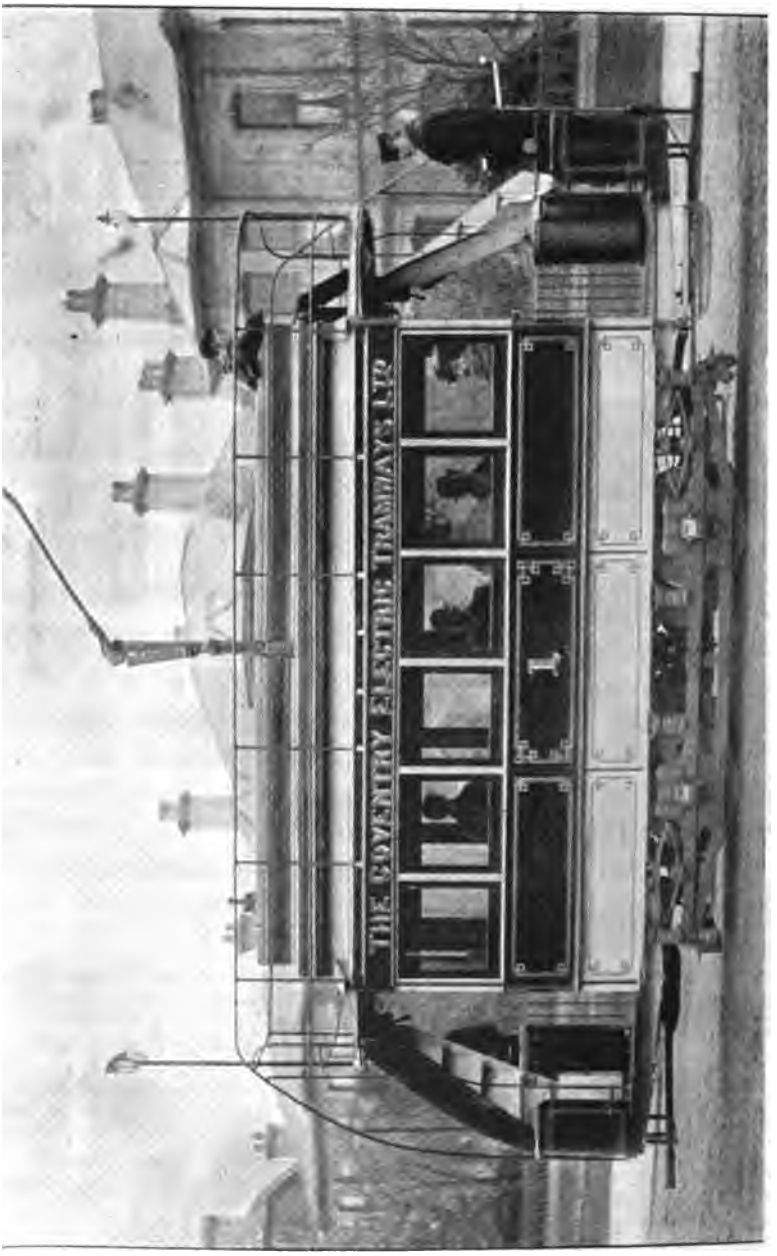



Fig. 313. — Voiture de Coventry. — Vue de côté.

ype américain d'une trentaine de places sans impériale, à vide, ı 5 ou 6 t., et celui d'une automobile d'une quarantaine de places

Digitized by Google

à 5,5 t. ou 6,5 t., suivant qu'elles sont équipées avec un ou deux moteurs. Lorsque la capacité s'élève à 50 places, le poids peut

Fig. 314. — Voiture de Coventry. — Vue par bout.

atteindre 7 à 8 t. ; pour une automobile ouverte de cette dernière capacité, il ne doit pas dépasser 7 t.

Digitized by Google

Le poids de la voiture en pleine charge peut être évalué à 7 ou 8 t. dans le premier cas, à 8 ou 9 t. dans le second et à 10 ou 11 t. dans le troisième. En aucun cas, il ne doit s'élever au chiffre de 13 t. couramment admis par les ingénieurs parisiens et qui résulte du poids absolument exagéré des automobiles actuellement en usage.

Il est assez difficile d'évaluer, d'une manière générale, le poids mort par place offerte, car, suivant les habitudes et les règlements locaux, le nombre des voyageurs admis à s'entasser sur les plates-formes est plus ou moins grand, en sorte que des voitures de dimensions identiques peuvent recevoir, en service régulier, un nombre assez différent de voyageurs.

En utilisant bien toute la place disponible, mais sans admettre de voyageurs debout à l'intérieur et sans serrer outre mesure les voyageurs de plates-formes, on ne peut guère abaisser le poids mort par place au dessous de 130 à 140 kg., et ce poids s'élève souvent à 190 kg. et davantage. La différence avec le poids mort des voitures de tramways à chevaux, qui est compris habituellement entre 50 et 70 kg. par place offerte, provient du poids de l'équipement électrique (25 à 40 kg. par place pour l'équipement à un moteur) et du supplément très sensible de poids résultant du renforcement général du véhicule.

Nous rappellerons que, sur les chemins de fer, le poids mort par voyageur varie de 200 kg. pour les voitures de troisième classe à 2 000 kg. pour certaines voitures de luxe ; sur les lignes à voie étroite et sur certaines lignes d'intérêt local à voie normale, il descend à 150 ou 200 kg. environ.

La diminution du poids mort a un grand intérêt pour des voitures de tramways, qui ont fréquemment à s'arrêter ou à ralentir, car le temps perdu pour amortir la force vive de la voiture et pour regagner la vitesse normale après l'arrêt est d'autant plus grand que la masse en mouvement est plus considérable. En outre, le poids mort des véhicules est un facteur important de la durée de la voie ferrée et de celle du matériel roulant lui-même.

La plupart des automobiles actuelles ont un poids excessif, et il semble qu'on pourrait les alléger sensiblement par une construction plus soignée et un meilleur choix des matériaux. Notre critique s'adresse spécialement aux constructeurs français, qui

Digitized by Google

font des caisses pesant jusqu'à 2 500 kg. pour 18 à 20 places assises, alors que la tare des caisses américaines de 22 places ne dépasse guère 2 000 kg[1].

**Remarques sur le choix des voitures.** — Quoique le choix du type et de la capacité la plus avantageuse des voitures ne se rattache pas directement à l'étude technique de la traction électrique, nous croyons devoir dire quelques mots de cette question, dont il faut forcément se préoccuper lors de l'établissement d'une ligne de tramway.

Le premier point à examiner est le trafic probable de la ligne. C'est une étude qui doit être faite spécialement dans chaque cas ; nous n'y insisterons pas et supposerons cette base connue.

Au point de vue des voyageurs, l'idéal d'une exploitation de tramways est évidemment d'avoir des voitures se succédant à des intervalles très rapprochés et effectuant leur parcours dans le moins de temps possible. C'est ainsi qu'on amène le public à se faire une nécessité du tramway, même pour des trajets de peu d'importance.

La traction électrique avec prise de courant en route, par son essence même qui permet de subdiviser la puissance motrice en un nombre aussi grand qu'on le veut de voitures, se prête merveilleusement à l'établissement d'un service à départs très fréquents. Il faut seulement que les véhicules auxquels on l'applique permettent de réaliser économiquement cette subdivision, c'est-à-dire qu'ils soient assez petits pour avoir une proportion moyenne raisonnable de places kilomètriques occupées (15 à 20 p. 100 au moins).

Si l'on oblige les compagnies à fournir des voitures très grandes, offrant en une fois beaucoup de places, comme l'administration tend à le faire à Paris par exemple, il faut évidemment, si l'on ne veut les entraîner à des dépenses hors de proportion avec les recettes, leur laisser les moyens de remplir leurs véhicules ; on arrive alors forcément, sauf sur quelques lignes à trafic exceptionnellement intense, à diminuer peu à peu le nombre des voitures en circulation ; chaque voiture individuellement peut encore ainsi faire une bonne recette ; mais le public, soumis à d'interminables

[1] Voir en appendice l'extrait du catalogue de la Cie Brill.

Digitized by Google

attentes dans les bureaux, finit souvent par s'impatienter et par renoncer à se servir du tramway, surtout s'il n'a qu'une course restreinte à faire.

Un service ainsi conçu constitue évidemment une mauvaise solution du problème des transports en commun à l'intérieur des villes. Il n'est pas nécessaire d'aller bien loin pour se convaincre de la supériorité, par rapport à la grosse voiture à passages rares, de la voiture légère, assez petite, mais passant très souvent, marchant vite, s'arrêtant facilement et démarrant avec rapidité : on n'a qu'à consulter les habitants de l'une quelconque des villes françaises qui possèdent aujourd'hui des services de tramways organisés d'après ce système.

On craint à Paris que ce service accéléré à grande fréquence de départs n'augmente l'encombrement déjà excessif des rues. Mais il suffirait, à ce qu'il semble, d'une réglementation sévère et effective de la circulation des voitures ordinaires pour faire disparaître en grande partie cet encombrement. L'expérience montre, du reste, que quand le service des transports par voitures publiques est sûr, facile et rapide, la voiture privée et surtout le fiacre, dont le besoin se fait beaucoup moins sentir, tendent à disparaître ; tout le monde prend le tramway, parce que tout le monde est assuré de le trouver quand il en a besoin et d'être conduit rapidement.

La voiture légère et fréquente étant le desideratum à réaliser, il faut, pour lui faire rendre son maximum d'effet utile, éviter tout ce qui est susceptible de diminuer la rapidité de transport. On doit par suite proscrire l'impériale. Le type de voiture qui paraît le mieux convenir, en Europe, à la grande généralité des cas, est la voiture fermée à deux plates-formes assez spacieuses pour assurer l'entrée et la sortie rapides des voyageurs (1 mètre de longueur au moins). Pour réduire au minimum le temps des arrêts, on pourrait en outre imiter avec avantage certaines dispositions employées en Amérique, par exemple l'entrée contiguë au marchepied, telle que la représente la figure 278, p. 312. L'été, on pourrait remplacer les caisses fermées par des caisses ouvertes, accessibles sur toute leur longueur, ou par des voitures mi-fermées et mi-ouvertes, qui présentent les mêmes avantages que les voitures à impériale sans en avoir les inconvénients.

Digitized by Google

Ensuite, il faudrait, au moins dans les grandes villes, faire arrêter les voitures, non plus à la demande des voyageurs, mais seulement en des points déterminés, comme on s'est décidé à le faire sur certaines lignes où on a pu ainsi augmenter notablement la vitesse moyenne du parcours.

En ce qui concerne la fixation de la capacité des voitures et de l'intervalle entre les départs, il est bien difficile de formuler des règles un peu précises. C'est une question d'espèce infiniment délicate et complexe, dans laquelle interviennent à la fois l'importance et la nature du trafic, la longueur du parcours, les habitudes du public, etc.

S'il s'agit d'une ligne à chevaux à transformer en ligne électrique, la capacité des anciennes voitures constitue une base sérieuse d'appréciation ; mais il faut tenir compte, en outre, de l'accroissement probable auquel le nouveau service devra faire face, car c'est un fait bien constaté que l'installation de la traction électrique est toujours suivie d'une augmentation notable de l'intensité de la circulation. Cette dernière considération empêche, en général, à elle seule, de donner aux automobiles électriques moins de 26 à 28 places de capacité. D'autre part, cette capacité s'élève rarement, même dans les villes européennes importantes, au-dessus de 40 ou 44 places.

Entre ces limites, la question de savoir jusqu'à quel point il y a intérêt à diminuer la capacité pour rapprocher les départs ne peut être résolue que dans chaque cas particulier. En diminuant la capacité des voitures, on ne réduit pas proportionnellement les frais d'exploitation, parce que la dépense de force motrice ne décroît pas en raison de la diminution du nombre de places offertes et que les frais de personnel de conduite restent les mêmes. Un moyen plus efficace d'atténuer les dépenses nécessitées par un service à départs fréquents est de supprimer sur chaque voiture l'agent chargé de percevoir le prix des places, comme on l'a fait sur certaines lignes américaines et en Allemagne à Halle, Chemnitz, Pankow, etc. ; les voyageurs déposent alors en entrant le montant de leur place dans une tirelire placée en vue du mécanicien. Ce système a donné de bons résultats, mais il n'est malheureusement pas applicable partout.

Il y a des cas où l'on doit se résoudre à espacer les départs. On

Digitized by Google

arrive effectivement par ce moyen à réduire les frais d'exploitation; mais en même temps on diminue le nombre des voyageurs et les recettes. Il y a par suite une limite à observer, qui dépend principalement de la longueur du parcours : une attente d'un quart d'heure, par exemple, acceptable lorsque le parcours à faire est d'une dizaine de kilomètres, deviendrait au contraire inadmissible si le trajet ne dépassait pas un ou deux kilomètres ; les voyageurs trouveraient alors souvent plus court d'aller à pied. On doit donc, dans chaque cas, déterminer la limite au-delà de laquelle il y a désavantage à diminuer la fréquence des départs. Sur les lignes urbaines, cette limite est rarement supérieure à 15 minutes et elle peut être bien inférieure. Ajoutons en passant que la double voie est indispensable quand la fréquence dépasse 10 départs à l'heure.

L'organisation du service doit d'ailleurs être faite de façon que le nombre de places offertes soit sensiblement supérieur (de 60 à 80 p. 100) à l'utilisation moyenne, car il est de règle que le trafic se développe avec les facilités accordées au public. Une exploitation basée, comme celle des omnibus et tramways parisiens, sur le régime du « complet » en temps normal [1], est évidemment défectueuse à la fois pour le public et pour la compagnie.

Le problème se complique, dans la plupart des exploitations, de l'irrégularité du trafic, soit que l'affluence des voyageurs soit plus considérable sur certaines parties de la ligne que sur d'autres, soit qu'elle varie selon les heures, les jours, les saisons ou d'autres causes.

Dans le premier cas, suivant l'importance relative du trafic sur les différentes sections de la ligne, leur longueur et leur position respectives, on peut avoir intérêt à augmenter le nombre et la capacité des voitures sur tout le parcours, ou à faire des départs supplémentaires sur la section chargée, ou encore à la desservir par des voitures de plusieurs lignes s'embranchant sur ce tronc commun.

Le second cas se présente dans presque toutes les exploitations

[1] D'après le rapport présenté au Conseil municipal par M. A. Berthelot au nom de la commission du Métropolitain (1896), le nombre de places offertes par les tramways et omnibus de toute catégorie, à Paris, est sensiblement égal au nombre de places occupées (290 millions de voyageurs contre 300 millions de places offertes).

Digitized by Google

de tramways, l'affluence des voyageurs étant plus grande le matin et le soir qu'au milieu de la journée, le dimanche que les jours de semaine, etc. La traction électrique se prête particulièrement bien à ce service irrégulier : on peut, en effet, à la seule condition de disposer d'une réserve de puissance motrice suffisante, augmenter le nombre des automobiles en service aux heures d'affluence, et doubler ou tripler la capacité de chacune en lui faisant remorquer une ou deux voitures ordinaires, qui, suivant le temps et la saison, seront fermées ou ouvertes. Ce système permet, avec des voitures offrant individuellement une capacité restreinte, de faire face à un moment donné à un trafic huit ou dix fois supérieur au trafic normal, surtout si l'on admet des voyageurs en surcharge, ainsi qu'il est logique de le faire avec la traction mécanique[1] ; il accroît la capacité de transport de la ligne au moment même où cela est nécessaire, sans la charger tout le reste du temps d'un poids mort inutile, comme c'est le cas lorsqu'on emploie constamment de très grandes voitures.

Il n'y a que sur quelques lignes exceptionnelles, à trafic extrêmement intense, que l'emploi de voitures de très grande capacité partant à de courts intervalles soit réellement justifié. On peut citer comme exemples la ligne des grands boulevards à Paris, où des voitures de 50 places se succèdent à intervalles de deux minutes, celle de State street, à Chicago, où des trains de 3 ou 4 voitures offrant ensemble 150 à 200 places assises, partent toutes les cinquante secondes, celle de Broadway, à New-York, où des voitures de 60 places passent toutes les vingt secondes aux heures les plus chargées ; à Boston, au coin de Boylston street et de Tremont street, il ne passe pas moins de 183 voitures montantes et 197 descendantes par heure, la capacité des voitures variant entre 40 et 50 places. Mais, même dans ces cas extrêmes, les voitures à

[1] Si l'on admettait des surcharges avec la traction animale, les chevaux seraient mis très rapidement hors de service ; cet inconvénient disparaît avec la traction mécanique et il n'y a plus dans ce cas à tenir compte que des convenances du public ; or, partout où cette tolérance est accordée, à Marseille, au Havre, etc., les voyageurs s'en sont montrés très satisfaits, à condition, bien entendu, que le service normal soit régulièrement assuré et que les surcharges ne se produisent qu'accidentellement. Il ne faut pas cependant abuser de cette facilité et la pousser au même point qu'en Amérique, où elle commence d'ailleurs à être assez vivement critiquée, ainsi que nous l'avons dit plus haut (p. 319, en note).

Digitized by Google

impériale ne sauraient être recommandées, en raison du temps qu'elles font perdre aux arrêts. L'augmentation de capacité doit plutôt être cherchée dans l'allongement de la caisse.

Jusqu'à 50 places de capacité totale, la caisse peut être montée sur deux essieux. Au delà, il faut recourir aux voitures du type américain à 3 ou 4 essieux, avec de très larges dégagements.

On peut se demander s'il ne vaudrait pas mieux, dans ce dernier cas, employer des trains de deux ou trois voitures, plutôt qu'une voiture unique de très grande capacité. Le système des remorques donne une flexibilité incomparable au service ; il présente en outre l'avantage de réduire la durée des arrêts [1] et de diminuer légèrement les frais de traction. Par contre, l'emploi d'automobiles isolées fait disparaître les chances d'acccident dues aux voitures d'attelage ; il permet d'effectuer une économie de personnel de conduite, une même équipe étant affectée à une capacité de transport plus grande, et il supprime la main-d'œuvre nécessitée par la formation des trains aux extrémités de la ligne ; enfin la presque totalité du poids des voyageurs peut être utilisée pour l'adhérence, si la voiture est montée sur un truck approprié, tandis qu'avec l'autre système on perd une fraction d'autant plus forte de ce poids que la voiture de remorque est plus chargée et que, par suite, l'effort de traction devrait être plus considérable.

[1] Une comparaison intéressante a été faite à ce point de vue (*Street Railway Journal*. octobre 1896, p. 585) entre deux lignes de Saint-Louis, employant, l'une des voitures fermées à bogies de 36 places assises, marchant isolément ; l'autre, des automobiles fermées à 2 essieux de 28 places assises, remorquant chacune une autre voiture. D'une série d'observations faites à différentes heures du jour et avec un nombre variable de voyageurs, il résulte que le temps nécessaire pour arrêter le véhicule, laisser descendre ou monter les voyageurs et regagner ensuite la vitesse normale, est toujours plus long avec la voiture à bogies qu'avec le train de deux voitures. La moyenne de ces observations est indiquée au tableau ci-après :

| | TEMPS nécessaire pour arrêter le véhicule en secondes. | DURÉE de l'arrêt en secondes. | TEMPS nécessaire pour regagner la vitesse normale en secondes. | TOTAL |
|---|---|---|---|---|
| Automobile de 28 places remorquant une autre voiture. . . . | 7,5 | 5 | 6 | 18,5 |
| Automobile à bogies de 36 places. | 10 | 7 | 11 | 28 |
| Différence en faveur du train de 2 voitures. . . . . | 2,5 | 2 | 5 | 9,5 |

Digitized by Google

Le choix entre les deux systèmes est une question d'espèce, qui ne saurait être résolue d'une manière générale. Rappelons seulement qu'aux Etats-Unis les très grandes voitures ne sont plus aussi répandues qu'autrefois, au moins dans l'intérieur des villes ; la plupart des compagnies qui les emploient visent moins à l'économie qu'à donner satisfaction au public, lequel préfère les voitures à bogies, plus confortables et d'un roulement plus doux que les voitures ordinaires.

Les voitures à 4 essieux sont tout indiquées pour les lignes suburbaines, surtout celles à long parcours et à arrêts peu fréquents, sur lesquelles il y a un trafic assez important d'une extrémité à l'autre ; aux vitesses élevées, le truck simple devient d'ailleurs dangereux.

## § 3. — Automobiles de chemins de fer

**Conditions d'emploi des automobiles sur les chemins de fer.** — Lorsqu'on passe des tramways aux chemins de fer, on voit la traction électrique appliquée de deux façons distinctes.

L'exploitation peut se faire, soit encore par *voitures automobiles*, soit par *locomotives* jouant le même rôle que les locomotives ordinaires à vapeur. Le choix entre les deux systèmes dépend de la nature et de l'importance du trafic. Nous ne parlerons ici que des automobiles, la question des locomotives devant faire, en raison de son importance, l'objet d'un chapitre spécial (chap. VII).

Jusqu'à présent la grande majorité des applications de l'électricité à la traction, en dehors des tramways proprement dits, a eu pour objet l'exploitation : 1° de lignes secondaires ou d'embranchements servant au trafic local des voyageurs à petites distances ; 2° de lignes métropolitaines.

1. Les premières se sont principalement répandues aux États-Unis, où, depuis deux ou trois ans surtout, l'on a vu un développement extraordinaire de ce que les Américains désignent sous le nom générique d' « interurban railroads » et qui constitue en réalité de simples *lignes d'intérêt local*, exploitées électriquement. Nous avons indiqué au chapitre Ier la façon dont ces entreprises ont



Digitized by Google

généralement pris naissance, par extension des réseaux de tramways électriques urbains, d'abord dans les faubourgs, ou plutôt dans ces lieux de résidence extérieurs aux centres d'affaires qu'on rencontre dans toutes les agglomérations des États-Unis, puis vers les villes avoisinantes. Ces lignes nouvelles, véritables chemins de fer par leur installation, soit qu'elles empruntent l'accotement des routes, soit qu'elles comportent une plate-forme séparée, ont ainsi largement dépassé les limites de la banlieue, et elles ont relié entre eux des centres industriels ou agricoles, privés jusque-là de moyens de communication commodes, à des distances qui ont sans cesse été en augmentant. Certaines d'entre elles mesurent jusqu'à 60 km. de longueur et sont desservies par des trains marchant à la vitesse de 30, 40, quelquefois 50 km. à l'heure. Elles font dans certains cas une sérieuse concurrence aux chemins de fer à vapeur, dont quelques-uns ont suivi l'exemple qui leur était ainsi donné et ont équipé électriquement à leur tour des embranchements ou des lignes transversales.

En Europe, les exploitations de ce genre sont encore relativement rares et la plupart ont été créées uniquement pour le service des touristes. Elles semblent néanmoins avoir là aussi un bel avenir devant elles.

Les caractères communs à toutes ces lignes sont : une longueur relativement faible, une vitesse de trains modérée et un trafic peu important, composé exclusivement ou presque exclusivement de voyageurs, quelquefois aussi de marchandises légères.

Les conditions d'exploitation en sont absolument différentes de celles des grandes lignes, en ce que, comme sur les tramways, on doit chercher à augmenter plutôt la fréquence que la charge des trains ; on est ainsi conduit à l'emploi d'un matériel essentiellement léger, se prêtant à une exploitation économique et offrant sous tous les rapports les mêmes avantages que les véhicules de tramways, tout en réalisant une plus grande puissance de transport et une allure plus rapide. Un tel service ne peut être fait avantageusement qu'au moyen d'*automobiles* échelonnées à courte distance, remorquant au besoin une ou deux voitures ordinaires, de manière à constituer des trains de 20, 30, 50 t. au maximum, analogues à nos trains-tramways actuels.

Digitized by Google

Sur les lignes à très fortes rampes, on peut même être conduit à composer les trains exclusivement de voitures automobiles ayant tous leurs essieux moteurs, comme, par exemple, ceux de la Cie P.-L.-M. sur la ligne électrique du Fayet à Chamonix.

2. La seconde catégorie de chemins de fer sur lesquels la traction électrique est aujourd'hui employée d'une façon courante est constituée par les *lignes métropolitaines*. Maintenant que les exemples de Londres, de Liverpool, de Chicago ont démontré la supériorité de l'électricité pour ce genre d'application, il est probable qu'on n'exploitera plus de métropolitains autrement.

L'organisation du service qui convient le mieux dans ce cas est encore le système des trains courts et fréquents, chaque train étant de même formé d'une automobile et d'un petit nombre de voitures remorquées. La distance à parcourir est toujours faible et la vitesse moyenne modérée en raison de la fréquence des arrêts; mais ici le trafic est généralement plus important que sur les simples lignes d'intérêt local et peut nécessiter des trains notablement plus lourds, pesant 80 t. ou davantage. On se trouve alors conduit à augmenter proportionnellement la puissance des automobiles, au point d'en faire de véritables locomotives.

Le même système d'exploitation intensive par trains légers à départs rapprochés s'appliquerait également bien au cas des lignes de banlieue, comme celles que l'Illinois Central R. R. Co est en train d'équiper électriquement aux abords de Chicago.

On peut donc dire, en résumé, que l'emploi des automobiles convient, d'une manière générale, pour des services locaux de voyageurs se rapprochant plus ou moins d'un service de tramway.

Au contraire, le transport électrique des voyageurs à longues distances sur les grandes lignes et celui des marchandises nécessiteraient l'emploi de *locomotives* capables de remorquer des trains semblables aux trains actuellement en service.

La ligne de Nantasket Beach et celle de Baltimore donnent déjà une idée de ce que serait un service de ce genre. Nous reviendrons plus loin sur le matériel qui peut être employé en pareil cas, ainsi que sur les applications des locomotives électriques aux chemins de fer d'une nature spéciale, telles que les voies ferrées industrielles, minières, etc.

Digitized by Google

**Caractères généraux des automobiles de chemins de fer.** — Il n'existe encore de lignes de chemins de fer électriques importantes qu'aux États-Unis. On ne s'étonnera donc pas si, dans ce qui suit, nous nous occupons à peu près exclusivement du matériel américain.

Lorsqu'il s'est agi de rendre automoteurs des véhicules de chemins de fer, les Américains ont naturellement cherché à conserver le matériel roulant existant. Celui-ci, du reste, avec ses deux trucks indépendants, sur lesquels le châssis inférieur de la caisse ne repose que par l'intermédiaire d'une cheville ouvrière et d'une crapaudine, se prêtait beaucoup mieux que le matériel des tramways à l'adaptation de moteurs électriques. Au lieu d'avoir à créer de toutes pièces un truck spécial pour les loger, il a suffi de modifier très légèrement les types de bogies en usage pour les mettre en état de recevoir ces moteurs.

Les automobiles employées sur les chemins de fer électriques des États-Unis sont donc toutes construites sur le modèle ordinaire des wagons américains à voyageurs : elles comportent une caisse de grande longueur à couloir central, portée sur deux trucks articulés, à double suspension, dans lesquels sont logés les moteurs. Les dimensions et les dispositions de détail diffèrent seules suivant les applications.

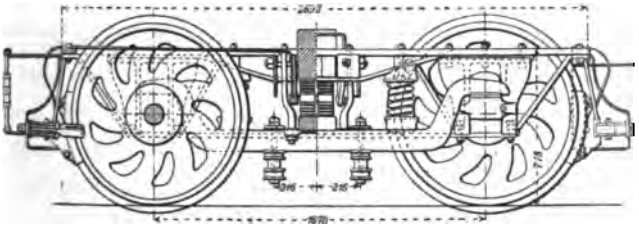
*Trucks.* — Sur les chemins de fer, on est généralement moins limité que sur les tramways relativement à l'écartement des essieux et à la hauteur du truck, car les courbes ont un rayon plus grand et, les arrêts étant plus rares, on peut sans inconvénient admettre deux ou trois marches entre le plancher de la voiture et le niveau des rails.

Par contre, les moteurs sont plus gros et plus difficiles à loger; le poids et la vitesse plus considérables des voitures exigent des trucks plus robustes et mieux suspendus pour éviter que les chocs dus aux inégalités de la voie ou au passage des courbes ne se transmettent trop brutalement à la caisse et même ne fassent dérailler la voiture.

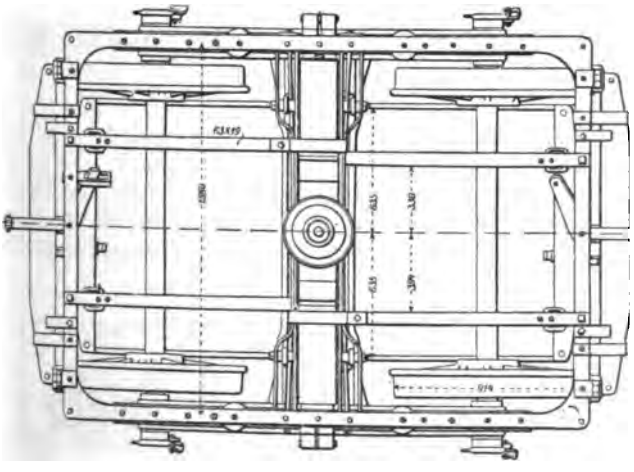
Dans le cas d'automobiles légères, destinées à marcher isolément ou en remorquant seulement une ou deux autres voi-

Digitized by Google

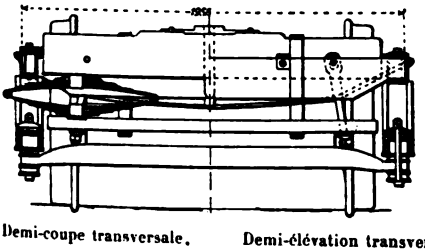
tures, les modèles de bogies décrits plus haut (p. 287) p tramways suburbains à grande vitesse sont encore parfa applicables.



Demi-coupe longitudinale. Demi-élévation longitudinale.



Plan.



Demi-coupe transversale. Demi-élévation transversale.

Fig. 315. — Truck d'automobile de chemin de fer.

On emploie aussi quelquefois dans ce cas, pour augmer fort de traction possible, des trucks à adhérence maxima ;

Digitized by Google

ne donnent pas un roulement aussi doux que les trucks dont le pivot est au centre du châssis ; dans ceux-ci, en effet, la caisse ne reçoit (abstraction faite, bien entendu, des ressorts de suspension) que la moyenne des déplacements horizontaux ou verticaux des roues, tandis que, lorsque le pivot est placé au-dessus de l'essieu moteur, elle subit intégralement toutes les réactions des roues correspondantes. Les trucks à adhérence maxima ne sont donc pas à conseiller dès que la vitesse de marche est un peu grande.

Les voitures plus lourdes sont montées sur des bogies tout à fait analogues aux trucks ordinaires à 4 roues des voitures de chemins de fer, sauf qu'un espace est laissé libre de chaque côté de la traverse maîtresse pour le logement des moteurs. En outre, afin de gagner de la place, on construit le châssis tout en fer, et non en bois armé de fer comme d'habitude.

La figure 315 montre un type de bogie très répandu sur les chemins de fer électriques, construit par la maison *Jackson and Sharp*. Il est à double suspension, avec balanciers latéraux et traverse oscillante supportant le pivot central, comme tous les trucks américains à voyageurs. Le modèle représenté a été employé sous les voitures du chemin de fer aérien de l'exposition de Chicago.

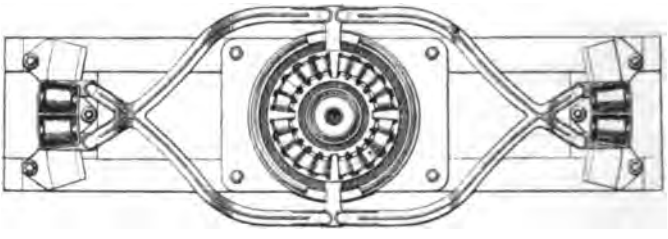


Fig. 316. — Plateau de roulement de la caisse sur le truck.

Il portait deux gros moteurs de 125 chev. ; l'automobile complète pesait 30 t. en charge et a remorqué des trains comprenant jusqu'à 7 voitures de 22 t. Pour rendre plus facile le mouvement d'orientation du truck, la caisse reposait sur le châssis non pas directement, mais par une série de galets disposés en couronne au centre et en secteur aux extrémités (fig. 316). Des trucks de même forme sont actuellement en service sur un grand nombre de lignes électriques interurbaines.

Les différentes parties du truck, essieux, roues, etc., doivent naturellement être plus fortes que sur les tramways. Les roues notamment se rapprochent, comme forme et comme poids, des

Digitized by Google

modèles usités sur les chemins de fer ordinaires. Les plus répandues sont encore les roues en fonte trempée, qui se font généralement à disque plein et pèsent de 200 à 250 kg. ; mais c'est spécialement pour ce genre de service qu'il existe une tendance marquée à remplacer les roues en fonte par des roues bandagées d'acier.

*Caisses.* — Les caisses ne se distinguent pas sensiblement comme construction des caisses à voyageurs en usage sur les chemins de fer des États-Unis. A part leurs dimensions, qui sont jusqu'ici un peu moindres, la principale différence consiste en ce qu'on doit réserver, à l'une au moins des extrémités, un emplacement pour le mécanicien et pour les appareils de manœuvre ; en ce qui concerne la commande des moteurs, ces appareils sont à peine plus encombrants que les régulateurs employés sur les tramways ; mais il y a généralement en plus un coupe-circuit automatique, un compresseur électrique, un manomètre et un robinet de manœuvre pour le frein à air, etc. et il est avantageux de réunir

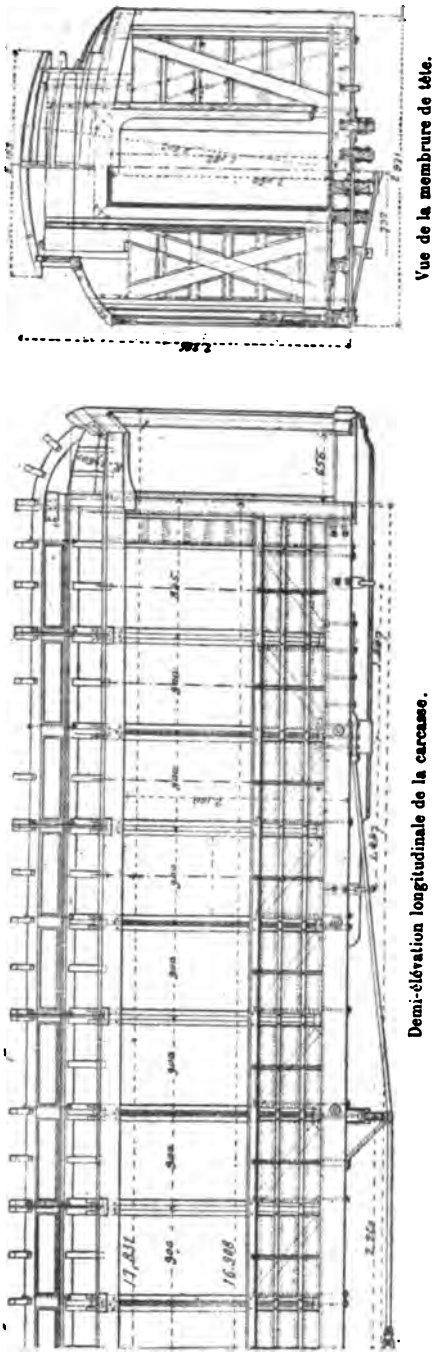



Fig. 317. — Mode de construction d'une voiture américaine à voyageurs.

Digitized by Google

tous ces appareils sous la main du mécanicien dans une cabine où il est isolé du public. Dans le cas où la prise de courant se fait par trôlet aérien, la caisse doit en outre avoir sa toiture renforcée. Mais les trappes de visite deviennent inutiles, car les moteurs sont très faciles à inspecter en dessous de la caisse.

Le mode de construction bien connu des voitures américaines se retrouve donc ici avec ses caractères essentiels : la caisse, reposant sur deux appuis très espacés, travaille tout entière comme une véritable poutre armée ; ainsi que le montre la figure 317, qui représente une caisse américaine typique, toute la partie inférieure des parois latérales, au-dessous des baies des fenêtres, est occupée par un système de pièces de bois formant une ferme d'une grande rigidité, renforcée en outre à sa partie inférieure par des tirants placés directement au-dessous du brancard. Ces parois latérales doivent, par suite, rester planes ; cette forme est d'ailleurs sans inconvénient avec la suspension sur bogies, qui élimine à peu près complètement les efforts transversaux et les efforts de torsion si nuisibles dans les véhicules à deux essieux rapprochés comme ceux de tramways. Le châssis inférieur doit présenter une grande solidité dans le sens longitudinal, pour résister aux efforts qui se produisent lors de la marche en train ; il est constitué par 6 ou 8 longerons de fort équarrissage solidement contreventés ; les traverses les plus fortes sont naturellement placées près des points d'appui sur les trucks. Les plates-formes sont rapportées ; elles n'interviennent pas dans l'attelage, qui est fait par l'intermédiaire du châssis lui-même. Le toit a toujours sa partie centrale surélevée sous forme d'une lanterne régnant sur toute la longueur de la voiture, jusqu'à l'extrémité des plates-formes[1]. Sur ce toit sont généralement montées deux perches de trôlet.

**Matériel des chemins de fer secondaires.** — Les automobiles actuellement employées *en Amérique* sur les lignes secondaires ou embranchements électriques sont sensiblement plus petites que

[1] Pour plus de détails concernant le matériel roulant américain, nous renvoyons aux traités spéciaux : *Les Chemins de fer en Amérique*, de MM. Lavoinne et Pontzen : *Les Chemins de fer à l'Exposition de Chicago*, de MM. Grille et Falconnet ; etc.

Digitized by Google

les voitures ordinaires de chemins de fer, dont la caisse atteint 20 à 22 m. de longueur.

Ces automobiles, dont la figure 318 montre un exemple typique,

Fig. 318. — Automobile de chemin de fer.

ne mesurent d'habitude que 11 à 13 m., parfois 15 m. de longueur totale, y compris les plates-formes, et contiennent 40 à 50 places

Fig. 319. — Intérieur d'automobile de chemin de fer.

assises ; les sièges sont transversaux, avec passage central (fig. 319).

On rencontre fréquemment sur ces lignes des voitures mixtes,

Digitized by Google

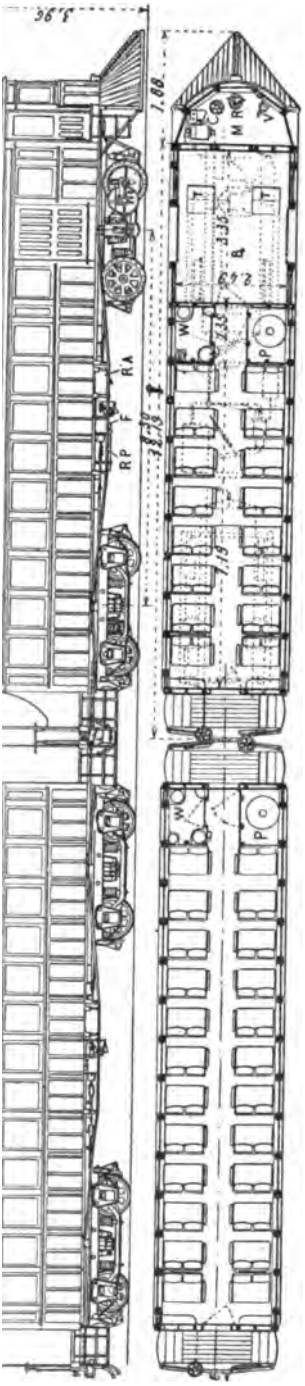



Fig. 320. — Train-type de la Cie Walker.

comprenant un compartiment séparé pour les bagages ou les messageries.

Les plates-formes sont généralement vestibulées. Lorsque la voiture est destinée à marcher dans un seul sens, comme celle de la figure 318, on n'applique cette disposition qu'à la plate-forme avant ; celle-ci est alors inaccessible au public et constitue la cabine du mécanicien, où sont groupés tous les appareils de mise en marche et d'arrêt, régulateur, pompe à air pour les freins, etc.

Les trucks ont généralement des roues de 0,90 m., parfois même 1 m. de diamètre, et le plancher de la plate-forme se trouve à 1 m. ou 1,20 m. du sol ; on y accède par deux ou trois marches.

Ces voitures pèsent en moyenne 10 à 12 t. à vide, sans moteurs ni agencement électrique, 14 à 15 t. avec deux moteurs de 50 chev. et leurs accessoires, et 17 à 20 t. avec quatre moteurs de 50 chev. ou deux de 100

Digitized by Google

chev. Lorsqu'il y a deux moteurs, on les monte tantôt sur le même bogie, tantôt sur les deux bogies, ce qui est la disposition préférable.

La figure 320 montre le train-type pour chemins de fer interurbains ou suburbains de la compagnie *Walker*, équipé pour marcher à 60 ou 70 km. à l'heure. L'automobile, de 15 m. de longueur totale (dont 12 m. de caisse), comporte un compartiment à voyageurs de 35 places et un compartiment à bagages, en avant duquel se trouve la cabine du mécanicien; celle-ci, complètement séparée du reste de la voiture, contient le régulateur, le compresseur électrique du frein à air, le robinet de manœuvre de ce frein, le volant du frein à main, etc. Sur chacun des bogies est monté un moteur de 100 chev. Ce véhicule remorque une voiture de mêmes dimensions contenant 50 places assises et pouvant recevoir un nombre de voyageurs double. Chacune d'elles pèse 12,5 t. environ, sans équipement électrique; l'automobile avec son équipement pèse 17 t., et le train entier, chargé de 150 voyageurs et de 3 000 kg. de bagages, 41,5 t. environ.

Sur certaines lignes où le trafic est particulièrement intense pendant la belle saison, on emploie de grandes voitures ouvertes à 15 ou 16 bancs transversaux, contenant 80 à 90 places.

*En Europe*, le matériel employé jusqu'ici sur les rares lignes de chemins de fer exploitées à l'électricité se rattache, soit au type ordinaire à deux essieux parallèles, soit au type américain à bogies.

Les automobiles en service sur la ligne à voie étroite Stansstadt-Stans, sur les lignes à voie normale Chavornay-Orbe, Meckenbeuren-Tettnang, Budapest-Rakospalota, etc., appartiennent à la première catégorie. La caisse, portée sur deux essieux parallèles, est à sièges longitudinaux ou à compartiments communiquant entre eux; l'entrée a lieu par deux plates-formes établies aux extrémités : il y a en effet intérêt, sur ces lignes secondaires, à permettre la libre circulation d'un bout du train à l'autre, pour que le service puisse être fait par deux agents seulement, un mécanicien et un conducteur, ce dernier assurant la perception et le contrôle en cours de route et pouvant au besoin suppléer le mécanicien. Les appareils de manœuvre sont placés sur les plates-formes.

Les voitures de Stansstadt-Stans[1] sont tout à fait minuscules ; elles pèsent 5,7 t. à vide, avec deux moteurs de 15 chev., reçoivent 30 voyageurs (dont 18 assis) et peuvent remorquer des trains de 20 t. au maximum. Celles de la ligne d'Orbe, équipées comme les précédentes par la *Compagnie de l'Industrie électrique*, sont construites sur le modèle courant des voitures de chemins de fer suisses et traînent des wagons ordinaires à marchandises ou à voyageurs pour une charge de 30 t.; chaque voiture comporte 32 places assises et est munie de deux moteurs de 30 chev. Quant aux automobiles du chemin de fer plus récent de Meckenbeuren-Tettnang (fig. 321), équipées par la *Société d'Oerlikon*, elles

[1] Cf. *Engineering*, 15 mars 1895.

Digitized by Google

contiennent à la fois un compartiment à voyageurs (22 places), un coupé pour la poste et un compartiment à bagages; chacune d'elles est équipée avec deux

Fig. 321. — Voiture de Mockenbouren-Tettnang.

moteurs de 24 chev. qui lui permettent de remorquer des trains de marchandises de 55 t. à la vitesse de 8 km. à l'heure environ, et pèse au total 14 t.

Digitized by Google

La figure 322 montre plus en détail les dispositions d'une voiture analogue, étudiée par la société *Schuckert* pour le service de la même ligne.

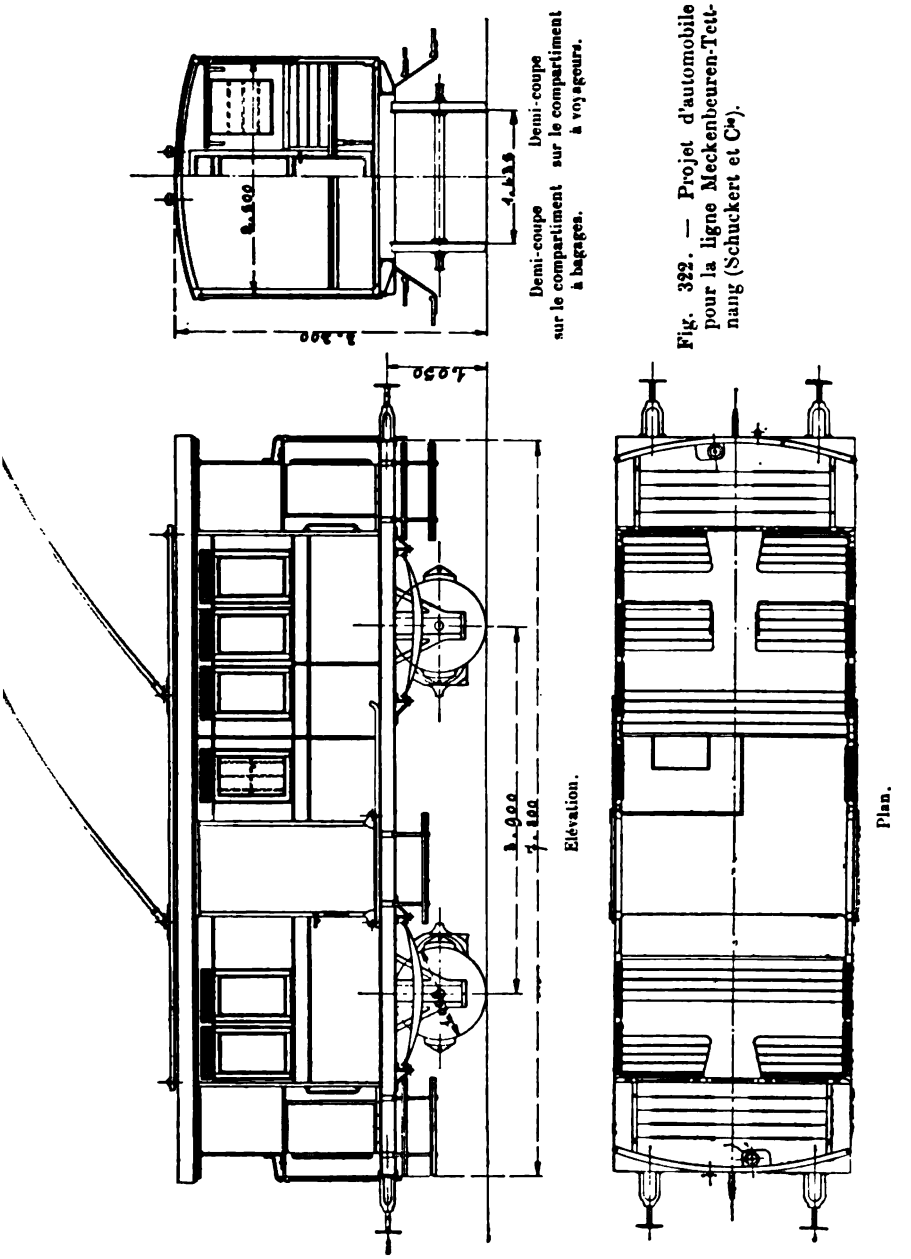



Fig. 322. — Projet d'automobile pour la ligne Meckenbeuren-Tettnang (Schuckert et Cie).

Ces voitures ne diffèrent pas sensiblement du matériel à essieux

Digitized by Google

rigides employé sur certaines lignes d'intérêt local. Pour la traction électrique, elles présentent l'inconvénient que nous avons déjà reproché aux premières voitures de tramways électriques européennes : la séparation du truck portant les moteurs et de la caisse n'y est pas observée. Cette séparation est cependant aussi indispensable sur les chemins de fer que sur les tramways, et pour les mêmes raisons. A ce point de vue, le matériel américain présente une très sérieuse supériorité ; il facilite considérablement l'inspection des moteurs et leur remplacement, puisqu'il suffit de soulever une des extrémités de la caisse pour dégager le bogie correspondant, le faire rouler au dehors et le remplacer par un autre. En outre, lorsque les trains à remorquer deviennent un peu lourds, le système des bogies est le seul qui permette de loger facilement sous la caisse la puissance nécessaire, surtout avec la voie étroite. Le poids mort par place offerte est peut-être un peu plus grand dans ce cas que dans celui de deux essieux[1], mais la charge de chaque essieu se trouve diminuée. Enfin le matériel à bogies offre l'avantage, qui, pour n'être pas spécial à la traction électrique, n'en est pas moins appréciable, de posséder une grande stabilité, de passer facilement dans les courbes raides et d'avoir un roulement très doux ; le public a une préférence très marquée pour ce genre de véhicules, comme on peut s'en convaincre sur les quelques lignes françaises où ils sont employés. La longueur des voitures ne saurait être un obstacle à son adoption, car une seule d'entre elles, aménagée en deux ou trois classes, peut suffire dans bien des cas sur des lignes à faible trafic ; d'ailleurs, si l'emploi exclusif de ce matériel paraissait devoir présenter des inconvénients, on pourrait le combiner avec celui de voitures de remorque du type ordinaire à deux essieux rigides.

Les automobiles du type américain qui sont déjà en service sur un certain nombre de lignes européennes permettront, il faut l'espérer, à nos ingénieurs de chemins de fer de se convaincre définitivement de la supériorité de ce système, spécialement en ce qui concerne la traction électrique.

[1] Pourtant le poids mort par place ne s'élève qu'à 300 ou 350 kg. dans les grandes automobiles à bogies de 50 places, chiffres qui sont largement dépassés dans les voitures de Meckenbeuren-Tettnang.

Digitized by Google

Sans parler de l'ancienne ligne de Bessbrook-Newry, où le docteur E. Hop-

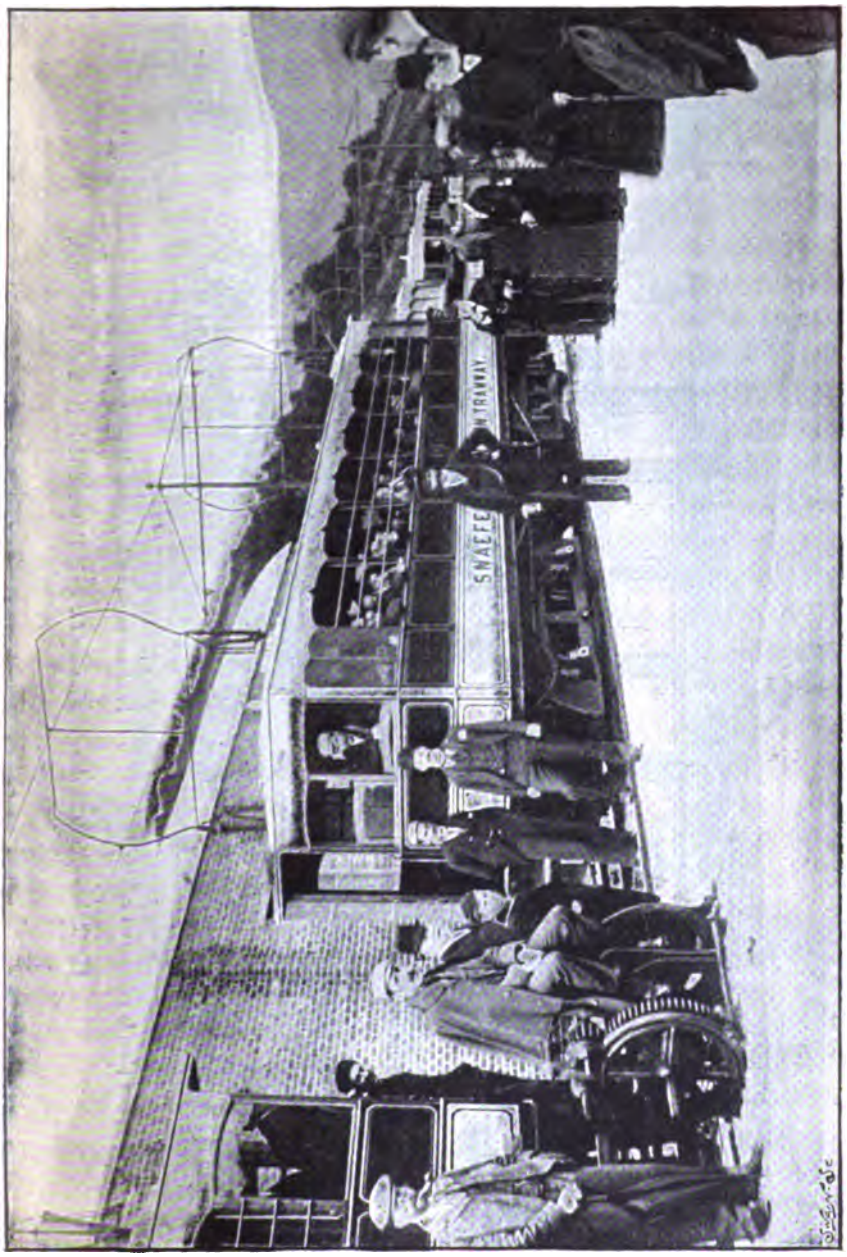
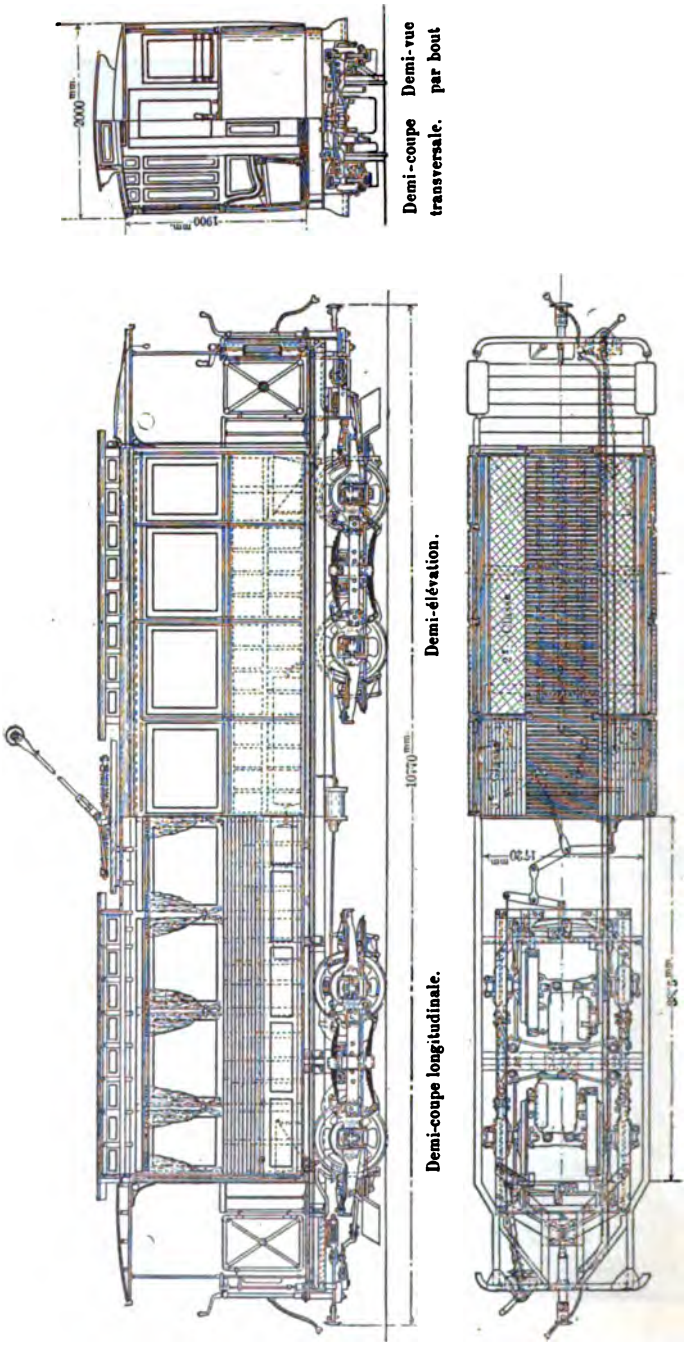



Fig. 323. — Voiture du mont Snaefell.

kinson a employé dès 1885 des voitures électriques à bogies, avec moteur

Digitized by Google



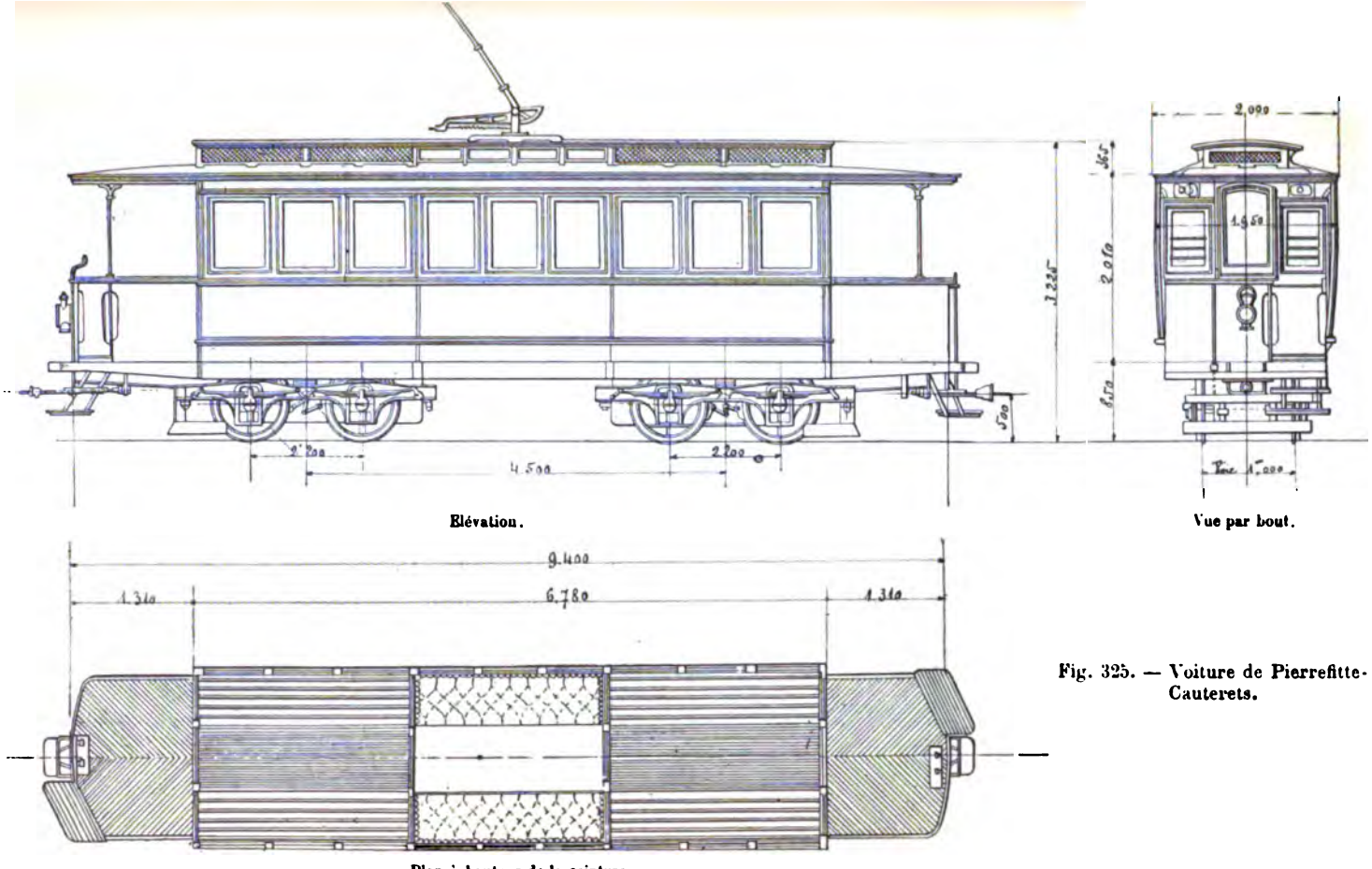

Demi-coupe transversale. Demi-vue par bout

Demi-coupe longitudinale. Demi-élévation.

Demi-vue en plan, la caisse étant enlevée. Demi-vue en plan à hauteur de la ceinture.

**Fig. 324. — Voiture des chemins de fer de la Haute-Silésie (voie de 0,785 m.).**

Digitized by Google




Elévation.

Vue par bout.

Plan à hauteur de la ceinture.

Fig. 325. — Voiture de Pierrefitte-Cauterets.



Digitized by Google

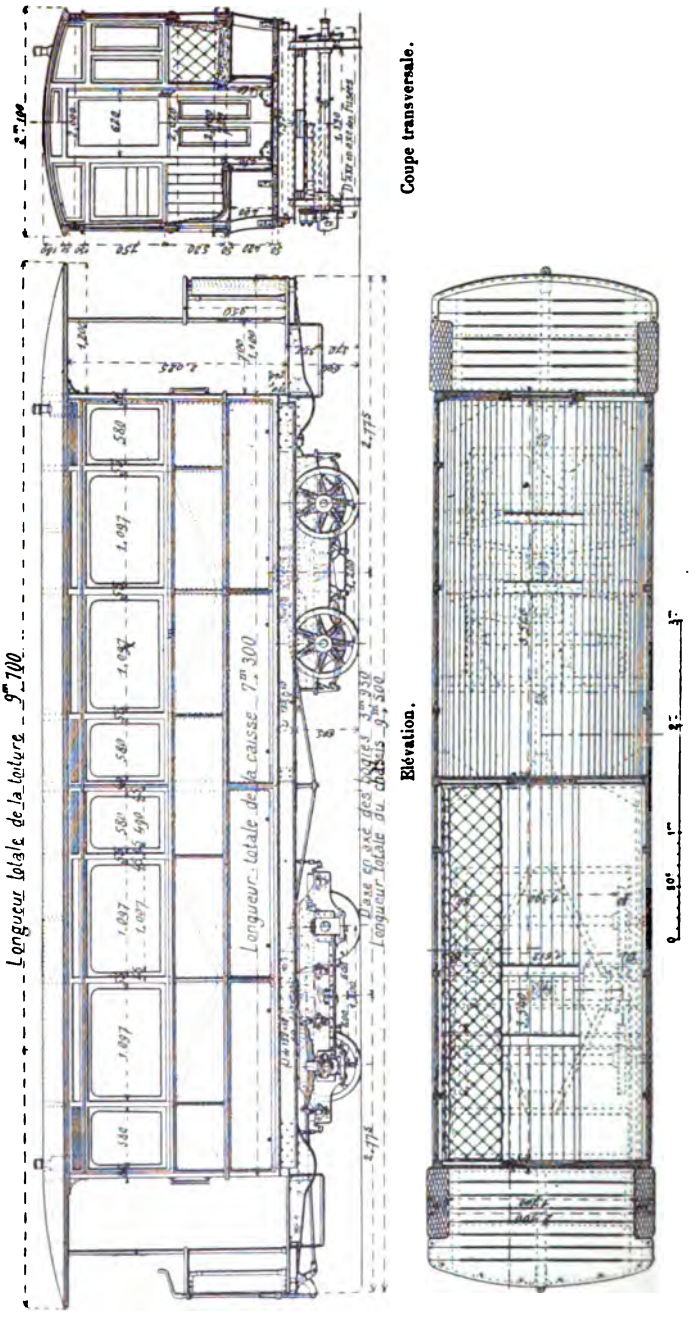



Fig. 320. — Projet d'automobile à bogies de la Société Franco-Belge.

Digitized by Google

unique placé dans une cabine séparée à l'avant[1], nous citerons parmi les chemins de fer électriques où ce type d'automobile est employé ceux du mont Snaefell et de Douglas-Laxey, dans l'île de Man, ceux de la Haute-Silésie, celui de Pierrefitte-Cauterets, etc.

La ligne du mont Snaefell, à voie d'un mètre, est affectée exclusivement aux touristes : elle est équipée avec des voitures à bogies (fig. 323), à sièges transversaux, de 10,70 m. de longueur et contenant 48 places assises, montées sur des bogies de 2,13 m. d'empattement avec des roues de 0,60 m. et munies de quatre moteurs *Mather and Platt* de 25 chev.; on entre dans ces voitures par les extrémités à travers la cabine du mécanicien, qui est séparée du compartiment à voyageurs par une porte à coulisse.

Les voitures de Douglas-Laxey sont analogues, sauf que la voie est de 0,91 m. seulement et qu'elles comportent des sièges longitudinaux avec 38 places assises ; la plate-forme d'avant seule est vestibulée. Tandis que les premières marchent isolées, les secondes remorquent pendant la belle saison des voitures à bogies ouvertes de 44 places.

Le réseau à voie de 0,785 m. de la Haute-Silésie, dont nous avons déjà eu occasion de parler à diverses reprises, comporte également des voitures à bogies (fig. 324), qui peuvent contenir 60 voyageurs et sont munies de quatre moteurs Walker de 18 à 20 chev..

En France, on trouve des automobiles à bogies sur les lignes de Pierrefitte-Cauterets-la-Raillière et Pierrefitte-Luz. La figure 325 montre l'ensemble d'une de ces voitures, équipées par le *Creusot*, qui porte 4 moteurs de 15 chev., contient 50 places et pèse 15 t. à vide. La disposition à sièges longitudinaux, adoptée ici par les constructeurs, paraît moins heureuse pour une ligne traversant un pays aussi pittoresque que la disposition à sièges transversaux, qui d'ailleurs, comme le montre l'exemple des voitures du mont Snaefell, n'est nullement incompatible avec la largeur de voie de 1 m.

La figure 326 montre un type d'automobile du même genre, étudié par la *Société Franco-Belge*.

**Matériel des métropolitains.** — Pour les voitures électriques destinées à un service métropolitain, la supériorité du type à bogies a été universellement reconnue, car c'est le seul qui ait été employé jusqu'ici, aussi bien en Europe qu'en Amérique.

La première condition que doivent remplir des voitures de ce genre, c'est de rendre très faciles la montée et la descente des voyageurs, afin de diminuer la durée des arrêts aux stations; les quais d'embarquement des lignes métropolitaines étant ordinairement placés au niveau du plancher des voitures, il suffit, pour satisfaire à ce desideratum, de donner à celles-ci de larges dégagements et de disposer les appareils de manœuvre de façon qu'ils n'encombrent pas les entrées.

[1] *Proceedings Inst. C. E.*, vol. XCI, 1887.

Digitized by Google

es types existants ne sont pas tous également bien conçus à ce point de vue. insi les automobiles du Metropolitan West Side R. R. de Chicago (fig. 327) bien une entrée à chaque extrémité ; mais, comme le montre le plan

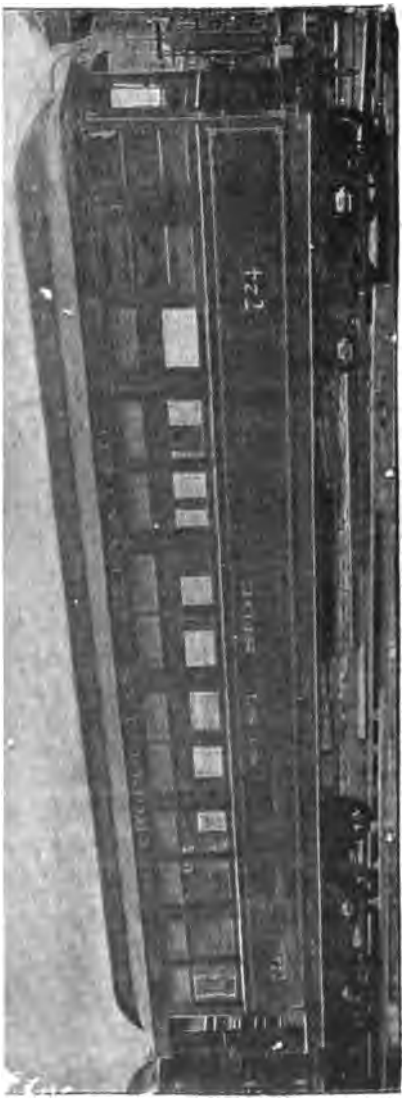


Fig. 327. — Automobile du Metropolitan West Side R. R. de Chicago.

Fig. 328. — Plan des automobiles du Metropolitan West Side R. R.

328), des cabines de mécanicien, placées aux deux angles diagonalement osés de la voiture et complètement closes, empiètent moitié sur l'intérieur noitié sur les plates-formes, en sorte que le public ne peut entrer et sortir par l'une ou l'autre des deux portes, suivant le sens de la marche.

Digitized by Google

Les automobiles électriques du pont de Brooklyn[1] (fig. 329), qui doivent être également rangées dans la classe des voitures métropolitaines, sont au contraire munies à chaque extrémité d'une entrée donnant sur une plate-forme ouverte, par laquelle les voyageurs peuvent monter et descendre, et en outre de deux portes latérales placées au centre pour faciliter le dégagement. Le régulateur et la manette du coupe-circuit, qui sont les seuls appareils électriques en vue, sont logés dans un angle des plates-formes, où ils ne gênent nullement le passage; tout le reste de l'équipement est caché sous la voiture.

Fig. 329. — Voiture électrique du pont de Brooklyn.

Dans ces deux types d'automobiles, les sièges sont disposés longitudinalement, comme le montrent le plan (fig. 328) et la vue intérieure des voitures de Brooklyn (fig. 330); cette disposition est généralement préférée en Amérique, parce qu'elle permet de loger plus de voyageurs debout dans les moments d'affluence. Tous deux ont sensiblement les mêmes dimensions (14,39 m. et

[1] La traversée du pont colossal (1800 m. de longueur) qui relie New-York et Brooklyn demandant un temps considérable, on y a installé en 1883 un chemin de fer funiculaire à deux voies. Les voitures sont actionnées par un câble sans fin continuellement entraîné à la vitesse de 18 km. à l'heure et auquel elles s'accrochent au moyen d'un « grip ». Aux extrémités du pont, elles lâchent le câble et sont prises par une locomotive à vapeur qui les aiguille sur l'autre voie. C'est ainsi du moins que s'est opéré le transbordement des trains jusqu'à ces derniers temps. Mais ce procédé était long et onéreux, et on vient de lui substituer un système de transbordement électrique : chaque train se compose maintenant de 4 voitures, dont une automobile servant uniquement à actionner le train au moment de l'aiguillage et à l'amener au-dessus du câble ; toutefois, cette voiture électrique est assez puissante pour remorquer les trains les plus lourds (120 t.) sur la rampe maxima du pont (37,8 mm.), en cas d'avarie au câble. En outre, aux heures de faible trafic, on trouve plus économique d'arrêter le câble et de se servir de la traction électrique. Au moment du service intensif, la traction par câble est au contraire préférée, parce qu'elle évite les tamponnements qui pourraient se produire avec des trains libres circulant à de très courts intervalles (1.5 min. au moment de la plus forte affluence) et à grande vitesse.

Digitized by Google

13,70 m. de longueur respectivement); ils contiennent chacun 40 places assises et peuvent recevoir jusqu'à 150 personnes.

L'entrée des voyageurs par les extrémités n'est jamais très favorable à la rapidité d'écoulement, et à ce point de vue l'adjonction d'ouvertures sur les côtés présente de sérieux avantages; elle a seulement le défaut d'interrompre les armatures de consolidation longitudinales, ce qui conduit à renforcer le plancher et par suite à augmenter le poids de la caisse. Mais cet inconvénient n'est pas bien considérable tant que la longueur des voitures ne dépasse pas 12 à 14 m.; dans ces limites, il est accepté couramment en Amérique pour les wagons à marchandises, par exemple, qui, tout en étant montés sur bogies, comportent comme les nôtres des portes roulantes latérales. L'augmentation

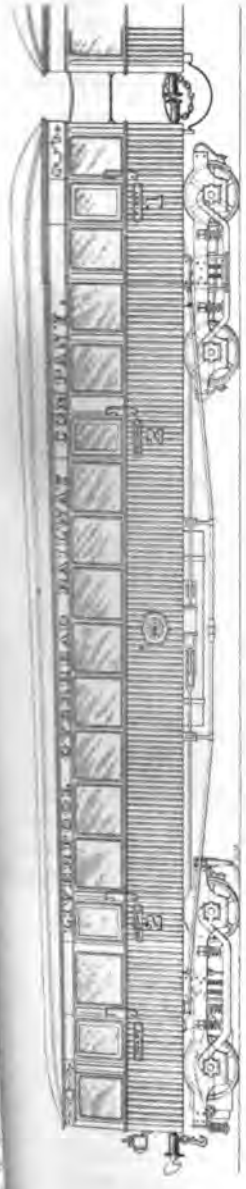
Fig. 330. — Intérieur des voitures électriques du pont de Brooklyn.

de poids peut même être utile pour l'adhérence lorsque les trains à remorquer deviennent un peu lourds.

En fait, les deux types d'automobiles en question pèsent très approximativement le même poids, 18 t. environ à vide, sans moteurs, dont à peu près moitié pour la caisse et moitié pour les trucks. Mais les voitures du Metropolitan West Side R. R. ont été alourdies à dessein : afin de leur donner l'adhérence et la solidité nécessaires pour remorquer au besoin des trains de 6 voitures, on a renforcé leur châssis au moyen d'une ossature métallique, composée de 2 fers à I de 230 mm. placés immédiatement au-dessous des brancards en bois latéraux et contreventés par deux fers à I extrêmes de même hauteur, par un certain nombre d'autres poutres plus petites et par un platelage en tôle s'étendant sous chacune des plates-formes.

Les automobiles du Lake Street Elevated R. R. de Chicago, qui mesurent 14 m. de longueur totale et sont disposées absolument comme ces dernières, pèsent, sans équipement électrique, 18 à 19 t., suivant le type de truck.

Digitized by Google



Elévation.

Plan.

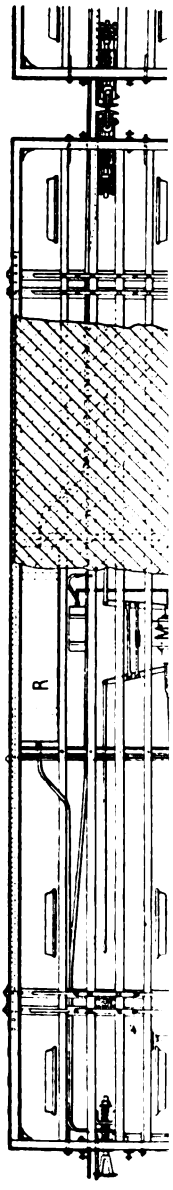



**Fig. 331.**
**Automobile de Liverpool.**

**A, régulateur.**
**W, manette du régulateur.**
**F, volant du frein à main.**
**G, siège.**
**R, réservoir à air.**
**M, cylindre à freins.**

Digitized by Google

Toutes ces automobiles peuvent d'ailleurs développer de fortes puissances : celles du pont de Brooklyn sont munies chacune de quatre moteurs de 65 chev., celles de Chicago de deux ou quatre moteurs de 125 chev.; ce sont donc de véritables locomotives et nous aurons à y revenir plus loin à ce point de vue spécial.

Les automobiles des métropolitains électriques construits jusqu'ici en Europe ont des prétentions beaucoup plus modestes.

Celles de Liverpool (fig. 331) ne portent chacune qu'un moteur de 50 chev.; elles marchent couplées par paire et le train complet de deux voitures pèse 40 t. au plus en charge. Ces voitures sont bien disposées au point de vue de

Fig. 332. — Automobile du tramway sur chaussée de Budapest.

la facilité des dégagements, sont remplacées par les portes extrêmes, trois portes latérales placées à une certaine distance du centre. Les sièges sont transversaux. Chaque voiture contient 57 places assises (16 places de première classe et 41 de seconde) et pèse à vide 15,725 t. seulement, dont 3 t. pour le moteur et l'essieu correspondant. Le mécanicien occupe à l'avant de la première voiture une cabine séparée où sont renfermés tous les appareils de manœuvre; il y a une cabine semblable à l'arrière de la seconde voiture, et les moteurs des deux véhicules sont reliés électriquement de façon à pouvoir être manœuvrés de l'un ou l'autre poste ; de cette façon, le train n'a pas besoin d'être retourné aux extrémités de la ligne. En marche, la cabine d'arrière est occupée par le conducteur, qui peut de là circuler d'un bout à l'autre du train.

On peut encore comprendre dans la catégorie des voitures de métropolitains celles du tramway sous chaussée de Budapest (fig. 332 et 333). Ces

Digitized by Google

véhicules présentent la particularité que la partie centrale du plancher est établie à un niveau plus bas que les extrémités, afin d'augmenter la hauteur du compartiment à voyageurs. Cette disposition, nécessitée par les faibles dimensions du souterrain (2,75 m. sous poutre), est en même temps très favorable à la stabilité; c'est d'ailleurs une réminiscence du mode de construction des premières voitures du chemin de fer aérien de New-York[1].

La partie basse au-dessus des bogies sert de cabine au mécanicien. Le compartiment intermédiaire contient 28 places assises et 14 debout; l'entrée des voyageurs se fait par une porte latérale placée au centre de la caisse. Chaque voiture porte deux moteurs de 20 chev. nominaux, à simple réduction ou « gearless », et pèse en charge 14 t., dont 2 t. pour les moteurs.

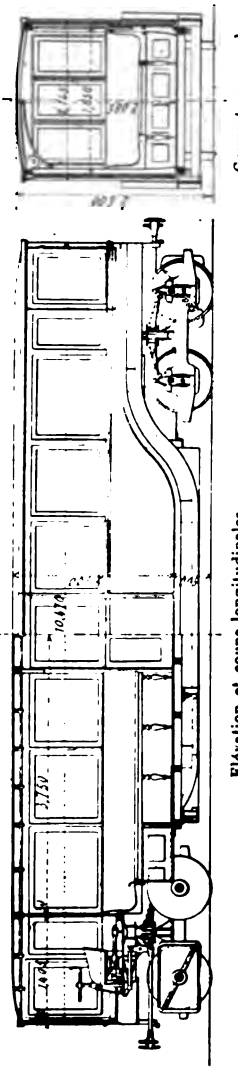


Fig. 333. — Détails de l'automobile de Budapest.

La disposition idéale pour des automobiles de métropolitain, au point de vue de la célérité et de la commodité du service, est évidemment celle du wagon européen ordinaire à compartiments[2] et entrées latérales, qui offre au public le maximum de dégagements, tout en laissant les extrémités de la voiture entièrement libres pour y loger les appareils de manœuvre et le mécanicien. Cette disposition des entrées n'est pas incompatible avec le système à bogies, du moins lorsque la caisse n'a pas une longueur excessive ; pour ne citer qu'un exemple, on trouve en Angleterre, sur le London and North Western Ry., des voitures à bogies de 12,80 m. de longueur, à compartiments et à couloir, qui présentent cinq entrées latérales. Seulement, il n'est plus possible dans ce cas d'utiliser aussi bien les parois latérales

[1] Cf. Lavoinne et Pontzen, *Les Chemins de fer en Amérique*, t. II, p. 620.

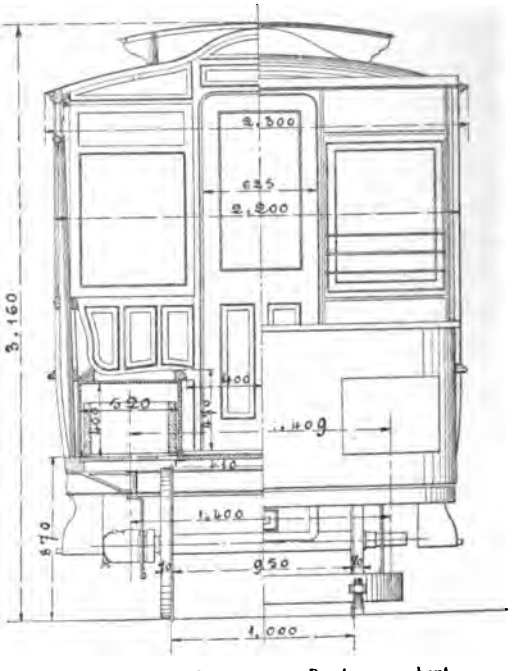
[2] Dans le cas d'un service métropolitain, il est avantageux de faire communiquer les compartiments entre eux par un passage latéral, suivant la disposition adoptée sur la « Stadtbahn » de Berlin; on perd ainsi 2 places par compartiment, mais cette

Digitized by Google

pour donner de la rigidité à la caisse et c'est le plancher presque seul qui doit résister à la charge. Le châssis se fait alors avantageusement en métal.

## § 4. — Automobiles a accumulateurs

Nous ne nous occuperons des automobiles à accumulateurs qu'en tant qu'elles diffèrent des voitures électriques ordinaires,




Demi-coupe transversale. Demi-vue par bout.

Fig. 334. — Voiture à accumulateurs de la Société Schuckert.

c'est-à-dire au point de vue du logement des batteries; pour le reste, il y a seulement lieu d'observer que le poids additionnel des éléments nécessite un certain renforcement du véhicule et spécialement du truck.

Le système le plus répandu consiste à loger les caisses conte-

perte est plus que compensée par la répartition plus égale des voyageurs entre les divers compartiments.

Digitized by Google

nant les accumulateurs sous les banquettes de chaque côté de la voiture. Leur introduction peut se faire, soit en bout, soit par les côtés.

Fig. 335. — Voiture à accumulateurs de la Cie des tramways de Paris et du département de la Seine (lignes de Saint-Denis).

La voiture représentée en coupe par la figure 334 offre un exemple du premier procédé.

Le second est appliqué notamment sur les voitures de la Compagnie des tramways de Paris et du département de la Seine en service sur les lignes de Saint-Denis (fig. 335 et 336). La caisse de ces véhicules, construite par la maison *Morel-Thibaut*, est identique, sauf en ce qui concerne les traverses de fond, à celle d'une voiture de la Compagnie générale des Omnibus dont nous avons donné plus haut les plans (fig. 255, p. 284) ; elle est montée sur deux trucks articulés système Averly (fig. 250, p. 280). L'automobile complète, contenant

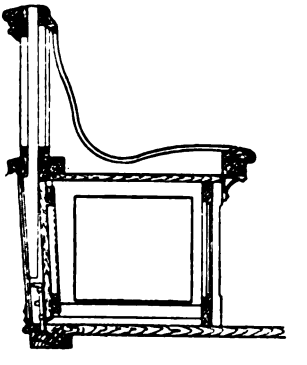


Fig. 336. — Voiture à accumulateurs des lignes de Saint-Denis. — Coupe transversale du logement des batteries.

Digitized by Google

52 places, pèse 10 500 kg. à vide, dont 3 800 kg. pour la caisse, 1 700 kg. pour les trucks, 2 000 kg. pour les moteurs et 3 000 kg. pour la batterie.

Lorsque la batterie doit rester à demeure dans la voiture, comme sur les lignes mixtes à accumulateurs et à trôlet de Dresde et de Hanovre ou sur les lignes récentes de Paris-Madeleine à Courbevoie et à Levallois (Cie des tramways de Paris et du département de la Seine), il faut prendre des précautions spéciales pour éviter les projections d'acide et les dégagements de gaz à l'intérieur de la voiture. Les compartiments affectés aux batteries, qui sont placées comme à l'ordinaire sous les banquettes, sont, dans ce but, revêtus intérieurement d'une feuille de caoutchouc et sont, en

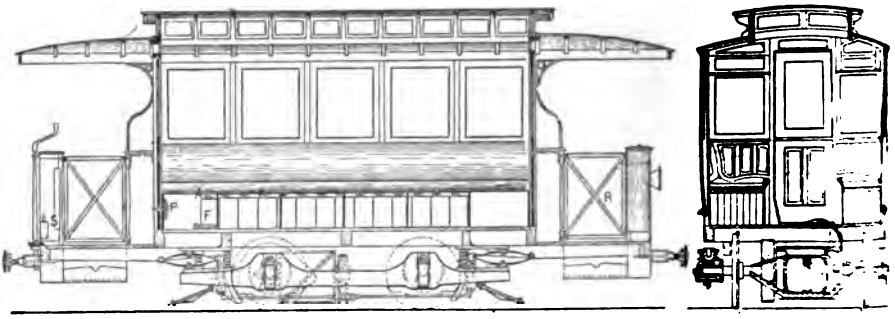


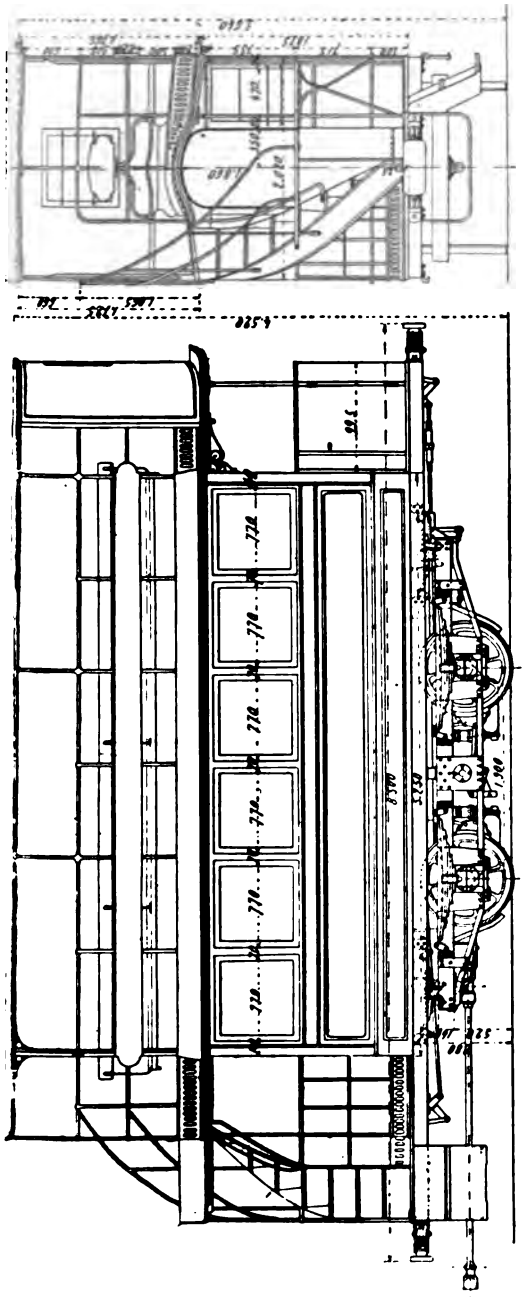

Fig. 337. — Voiture à accumulateurs de Hanovre.

A, coupe-circuit automatique. — P, coupe-circuit principal. — S, interrupteur de sûreté. F, fusible. — R, régulateur.

outre, ventilés par un petit aspirateur électrique monté sur l'avant de la voiture, ou simplement par deux tuyaux débouchant sur le toit, à l'avant et à l'arrière.

Les figures 337 et 338 représentent deux voitures où ces dispositions sont appliquées, celle de Hanovre et celle des lignes précitées de Courbevoie et Levallois. Cette dernière, construite par la maison *Desouches, David et Cie*, pèse à vide 11 350 kg. environ, dont 3 780 kg. pour la caisse (52 places), 2 370 kg. pour le truck, 1 600 kg. pour les moteurs et 3 600 kg. pour les accumulateurs. On remarquera sur la figure 338 la construction très robuste du châssis, nécessitée par le poids des batteries et qui entraîne une certaine augmentation du poids propre de la

Digitized by Google



Vue par bout.

Elévation.

Plan du châssis.

Fig. 338. — Voiture à accumulateurs de la Cie des tramways de Paris et du département de la Seine (lignes de Courbevoie et de Levallois).

Digitized by Google

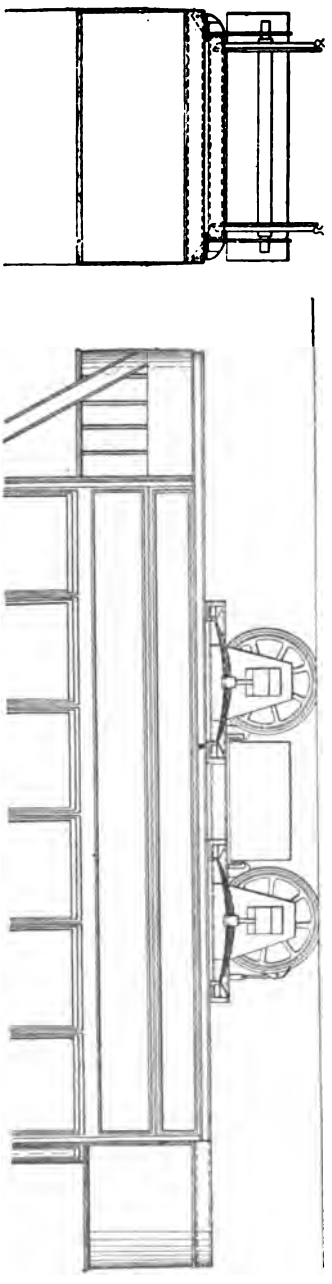



Fig. 339. — Nouveau type de voiture à accumulateurs de la Cie des tramways de Paris et du département de la Seine.

caisse ; le truck également est plus fort que les trucks ordinaires.

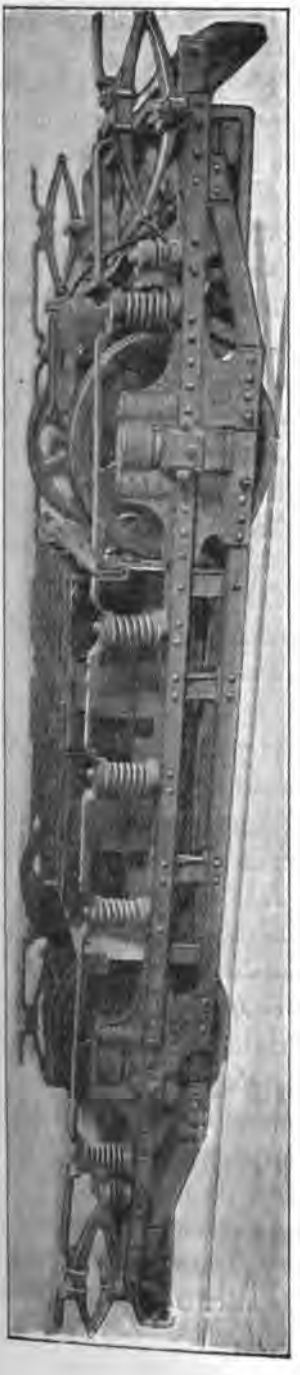
Le remplacement des batteries déchargées par une nouvelle batterie dans les voitures à accumulateurs ordinaires exigeant toujours un temps assez long, quelle que soit la perfection du procédé de manutention employé [1], on a imaginé de substituer aux caisses logées sous les banquettes une caisse unique suspendue au châssis du truck, entre les 2 essieux.

Cette disposition a été réalisée sur un nouveau type de voiture à accumulateurs de la Compagnie des tramways de Paris et du département de la Seine, dont la figure 339 montre les dispositions essentielles. La position des moteurs est renversée ; ils reposent sur des traverses placées extérieurement aux essieux, de façon à laisser au centre du châssis un espace libre pour le logement de la batterie. On peut ainsi loger 2 000 kg. de plaques sous la voiture.

Cette modification a si notablement réduit l'opéra-

[1] Les diverses méthodes de manutention sont décrites plus loin au chapitre de la *Traction par Accumulateurs.*

Digitized by Google



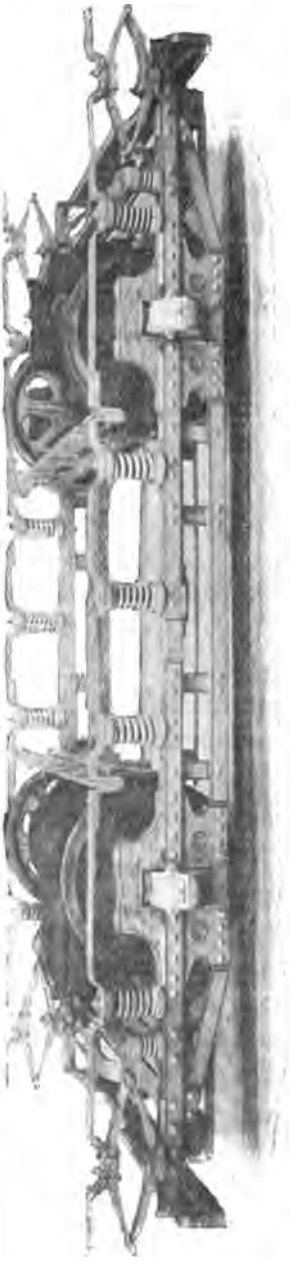


Fig. 340. — Truck à accumulateurs Peckham, à vide.

Digitized by Google

tion de la manutention que la compagnie exploitante compte l'adopter dans toutes les applications futures.

On s'est préoccupé en Amérique de réaliser le même perfectionnement. La compagnie *Peckham*, entre autres, construit un type spécial de truck à accumulateurs, dans lequel la batterie est logée entre les deux essieux (fig. 340 et 340 *bis*). Ce truck présente sur le précédent l'avantage que la suspension y est double, comme dans tous les trucks américains ; la batterie est en outre supportée elle-même par des ressorts, en sorte que les risques de détérioration des plaques sont réduits au minimum. Le poids de ce truck est de 2 200 kg. environ, et il peut porter 1 800 kg. de batteries.

La place de la caisse unique d'accumulateurs entre les deux essieux, sur le truck, est du reste sa place normale. Elle supprime toute crainte de projection d'acide dans les voitures, à la suite d'un arrêt trop brusque ou d'un choc trop violent.

## § 5. — Equipement électrique, éclairage et chauffage des automobiles

**Equipement électrique.** — L'équipement électrique d'une automobile comprend : les moteurs attaquant les essieux, les rhéostats employés pour régler l'intensité du courant dans les diverses parties de ces moteurs, les régulateurs de marche, qui permettent de mettre les moteurs en relation avec le réseau et avec les rhéostats de réglage, enfin l'appareil de prise de courant, qui, suivant les cas, est placé au-dessus ou au-dessous de la voiture. Ce dernier trouvera mieux sa place dans l'étude de la Distribution du courant; quant aux régulateurs et rhéostats, ils seront étudiés au chapitre de la *Régulation de vitesse* (chap. X).

Les rhéostats sont logés dans des caisses fixées en général sous le plancher de la voiture ; les régulateurs sont placés sur les plates-formes avec une manette à la main du mécanicien. Ces divers appareils sont réunis par des conducteurs à poste fixe dont nous allons indiquer les dispositions et qui sont munis de divers interrupteurs et appareils de sécurité décrits dans un chapitre spécial.

Digitized by Google

A ces parties essentielles de l'équipement viennent s'ajouter les dispositifs d'éclairage et souvent de chauffage électrique dont la description fait l'objet des paragraphes ci-après ; souvent aussi on y joint un des systèmes de freins électriques dont nous renvoyons l'étude au chapitre du *Freinage*.

**Eclairage.** — L'éclairage des voitures se fait naturellement à l'électricité. Il est généralement assuré par des lampes à incandescence de 16 bougies montées sur un circuit dérivé sur le circuit principal.

Pour utiliser les 500 volts environ dont on dispose, on emploie, en général, 5 lampes en série, dont 3 à l'intérieur de la voiture et 2 à l'extérieur pour

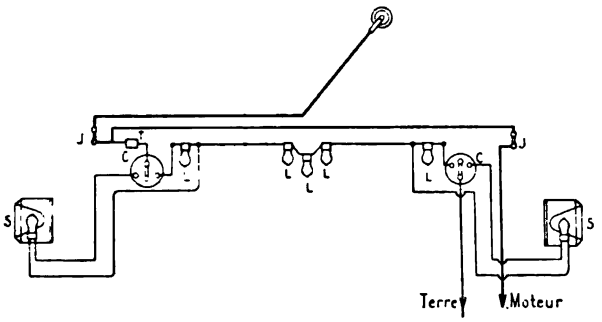



Fig. 341. — Dispositif pour mettre les fanaux en circuit à la main.

C, C, commutateurs à deux directions. — J, J, coupe-circuits fusibles. — T, interrupteur principal. L, L, lampes. — S, S, fanaux.

les feux réglementaires[1] ou pour l'éclairage des plates-formes. Dans certaines voitures, le fanal à réflecteur placé à l'avant pour éclairer la route est également électrique et prend la place d'une des 5 lampes. On peut alors disposer, comme le montre la figure 341, des commutateurs permettant de mettre une des lampes intérieures hors circuit lorsqu'on place le fanal en position. Cette commutation peut même se faire automatiquement, si l'on adopte le dispositif de la figure 342.

Dans les grandes voitures, on emploie plusieurs circuits semblables en parallèle au lieu d'un seul.

Dans certaines exploitations, notamment sur les tramways de Munich, on dispose entre les lampes des conducteurs supplémentaires qui permettent de les essayer comparativement à une lampe témoin (fig. 343).

[1] D'après les règlements en vigueur en France, toute voiture de tramway à traction mécanique doit être munie extérieurement d'un feu rouge à l'avant et d'un feu vert à l'arrière.



Digitized by Google

Quelquefois aussi on place en dérivation aux bornes de chaque lampe une clef de court circuit qui permet, lorsqu'on constate une interruption accidentelle de courant, de reconnaître immédiatement quelle est la lampe dont le filament s'est brisé.

L'éclairage par ce procédé laisse beaucoup à désirer par suite des variations de la tension de distribution, qui se font vivement sentir sur l'éclat des lampes. On a bien imaginé des appareils de réglage qui réduisent cet inconvénient, mais ils sont trop compliqués pour qu'on puisse en recommander l'emploi.

Le remède le plus radical consiste à munir les voitures d'une petite batterie

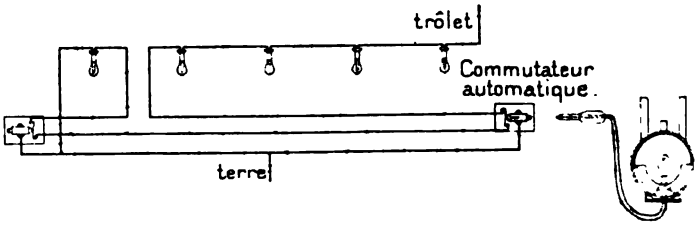



Fig. 342. — Dispositif pour mettre les fanaux en circuit automatiquement.

d'accumulateurs, destinée uniquement à l'alimentation des lampes et qu'on recharge à la station; cette méthode, qui a été employée quelquefois, constitue malheureusement une sujétion à la fois gênante et onéreuse, et elle ne s'est pas répandue en dehors du cas spécial où l'on emploie déjà une batterie

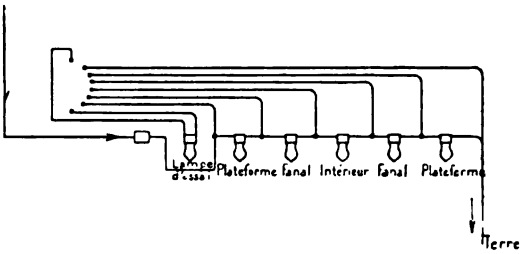



Fig. 343. — Disposition des lampes des voitures de Munich.

pour d'autres usages; sur les voitures à accumulateurs, elle se trouve réalisée d'elle-même.

D'autres dispositifs, fondés également sur l'emploi d'accumulateurs, ont pour but de parer à l'extinction des lampes résultant d'une interruption totale de courant, par exemple en cas de déraillement du trôlet. La figure 344 représente schématiquement un système de ce genre, comportant des lampes de secours qui sont mises automatiquement en circuit avec la batterie lorsque le courant de ligne vient à manquer. Mais pour les fanaux, qui ne doivent pas être à la merci d'un dérangement d'appareil, il paraît plus sûr de recourir à des lampes à huile ou à pétrole, en réservant les 5 lampes à incandescence exclusivement pour l'éclairage intérieur de la voiture.

Les lampes de tramways doivent être construites spécialement pour résister

Digitized by Google

aux vibrations et aux chocs auxquels elles sont exposées pendant la marche ;

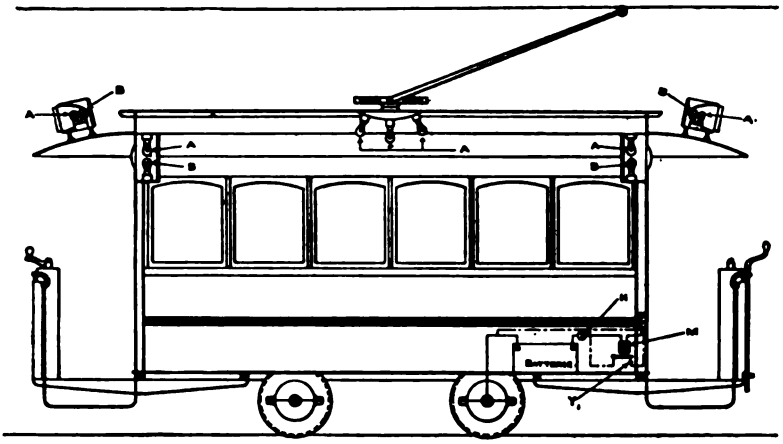


Fig. 344. — Système d'éclairage de secours par accumulateurs.

A, A, lampes. — B, B, lampes de secours. — M, électro-aimant. — H, commutateur. — Y, contact.

le filament est souvent amarré à l'ampoule ou à la base de la lampe (fig. 345 et 346).

Pour éviter la rupture du circuit et l'extinction des cinq lampes en cas

Fig. 345 et 346. — Types de lampes électriques à filament ancré.

d'avarie à l'une d'elles, on peut employer la disposition représentée schématiquement par la figure 347. Chaque lampe est munie d'un électro-aimant

Digitized by Google

excité par un shunt R du circuit d'éclairage ; le courant qui passe en temps normal n'est pas assez fort pour attirer l'armature A ; mais, en cas de rupture d'un des filaments, la totalité du courant vient traverser l'électro-aimant correspondant, dont l'armature se trouve attirée et court-circuite la lampe avariée en intercalant une résistance équivalente. On peut aussi se servir de ce commutateur automatique pour mettre en circuit une lampe de réserve.

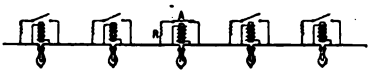


Fig. 347. — Système de protection des lampes.

Aujourd'hui que l'on fabrique assez couramment des lampes à plus haut voltage (jusqu'à 220 volts), on pourrait placer sur chaque voiture 3 lampes

Fig. 348. — Abat-jour à trois lampes.

seulement de 170 volts chacune ou 2 lampes de 200 volts et une de 100 ; mais ce serait aussi cher et moins commode que les 5 lampes à 100 volts.

Pour éviter que celles-ci soient brûlées par une hausse de voltage accidentelle sur la ligne, il est bon de les prendre d'un voltage un peu plus fort ; en choisissant le type de 20 bougies à 110 volts par exemple, on obtient environ 16 bougies à 100 volts dans de bonnes conditions de sécurité.

Fig. 349. — Prise de courant pour voiture d'attelage.

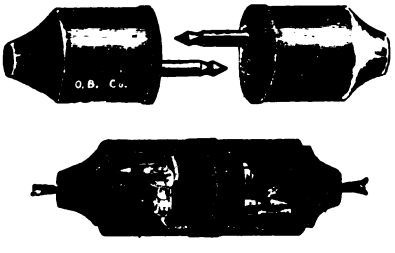



Fig. 350. — Autre type d'appareil de prise de courant.

Au lieu de dispositif automatique fonctionnant en cas de rupture d'une lampe, il est plus simple d'avoir deux circuits de 5 lampes chacun, qui permettent au mécanicien de remplacer aussitôt la série endommagée par une autre en bon état au moyen d'une simple manœuvre de commutateur.

La figure 348 montre un modèle d'abat-jour pour lampes de plafond et les figures 349 et 350 des coupleurs servant à relier le circuit d'éclairage de l'automobile à celui de la voiture remorquée.

**Chauffage.** — L'utilité du chauffage des voitures de tramways dans nos climats tempérés est très contestée. Ses adversaires

Digitized by Google

objectent avec une certaine raison que les voyageurs, ne séjournant que peu de temps dans les voitures, y restent aussi couverts qu'au dehors, que, de plus, il règne généralement à l'intérieur d'une voiture chauffée une odeur fort peu agréable, enfin que les voyageurs sont exposés à contracter des refroidissements en raison des variations de température et des courants d'air qui se produisent chaque fois que la porte s'ouvre. Il n'en est pas moins vrai qu'il se manifeste depuis quelque temps, à Paris notamment, une tendance à chauffer les voitures de tramways, ainsi que cela se pratique depuis longtemps dans les pays à hivers rigoureux.

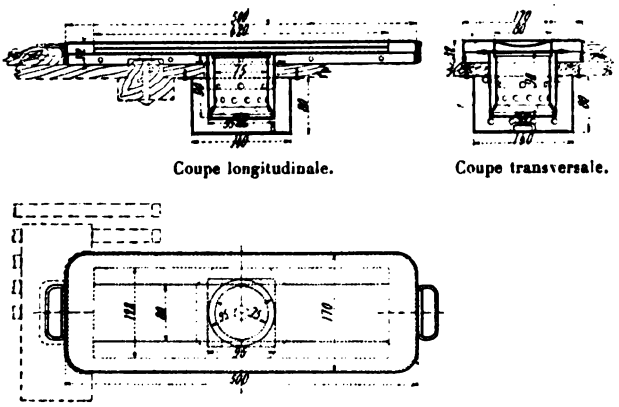



Fig. 351. — Chaufferette Fabre.

Sur les lignes suburbaines et sur les chemins de fer, le chauffage des voitures devient, bien entendu, une nécessité.

Un grand nombre de modes de chauffage ont été essayés : chauffage aux briquettes, au charbon ou au coke, à l'acétate de soude, à l'eau chaude, à la vapeur, au pétrole, etc. Aucun n'est absolument exempt d'inconvénient.

Sur les tramways, il n'y a guère que les deux premiers qui aient reçu des applications un peu nombreuses.

Le *chauffage par briquettes* est surtout répandu en Allemagne : l'appareil *Berghausen*, un des plus en faveur actuellement, consiste en une caisse placée sous l'une des banquettes et dans laquelle on introduit des briquettes spéciales au charbon de bois par une petite porte pratiquée dans la paroi de tête de la voiture ; les produits de la combustion sont évacués par un tuyau traversant le toit. La Compagnie générale des Omnibus emploie à Paris un autre appa-

Digitized by Google

reil, la chaufferette Fabre (fig. 351), dans laquelle l'arrivée de l'air et l'évacuation des gaz se font par la partie inférieure du foyer, qui est logé dans un trou pratiqué dans le plancher.

Ces appareils, qui marquent un progrès sensible sur les anciennes chaufferettes dégageant tous les produits de la combustion dans l'intérieur de la voiture, ne sont cependant pas encore sans défauts : le plus grave est qu'ils ne donnent pas une répartition uniforme de la chaleur.

Il en est de même, à un degré plus accentué, du *chauffage par poêle*, usité principalement en Amérique ; les poêles employés sont des appareils à combustion lente, qui se placent généralement, comme le montre la figure 299 (p. 315), au milieu de la voiture, avec un tuyau d'échappement traversant le toit. Ils produisent une température qui serait considérée comme excessive par le public français, et malgré cela les pieds des voyageurs restent froids.

Les *bouillottes mobiles à l'acétate de soude*, qui ont été essayées dans diverses exploitations, ont l'inconvénient d'exiger une manutation compliquée et coûteuse.

Le *chauffage à l'eau chaude* constitue une des meilleures solutions lorsqu'il est réalisé, comme dans certaines voitures parisiennes, par la circulation dans des bouillottes fixes d'eau préalablement échauffée par un petit foyer placé extérieurement au véhicule ; on reproche cependant à ces appareils thermosiphons de se rouiller rapidement lorsqu'ils ne sont pas en service.

Quant au *chauffage par la vapeur*, il ne paraît pratique que pour les voitures remorquées par des locomotives ordinaires.

Le *chauffage électrique* serait la méthode idéale s'il ne coûtait pas aussi cher. En Amérique, où ce procédé est aujourd'hui assez répandu, on estime que pour maintenir à + 10° la température d'une voiture de tramway à 22 places assises, dont les portes sont fréquemment ouvertes, il faut dépenser environ 2 kilowatts par un froid modéré et 4 à 5 kilowatts par les très grands froids. Des essais faits au commencement de l'année 1894 par l'Atlantic Avenue R. R. Co. de Brooklyn, pour mesurer la quantité de courant consommée par le chauffage électrique [1], ont donné les résultats indiqués au tableau de la page suivante.

Dans nos climats, la dépense moyenne d'énergie serait sensiblement moindre.

Il n'est pas nécessaire d'ailleurs de faire passer le courant d'une façon continue dans les radiateurs : on peut réduire notablement l'intensité du courant lorsque la voiture est bien chauffée et qu'il n'y a plus qu'à maintenir la température acquise ; aux heures de

[1] *Street Railway Journal Souvenir*, octobre 1894, p. 103.

Digitized by Google

grande affluence, on peut même souvent interrompre complètement le chauffage.

| TYPE DE VOITURE | | | TEMPÉRATURE en degrés centigrades | | PUISSANCE électrique dépensée en watts. |
|---|---|---|---|---|---|
| Nombre de portes. | Nombre de fenêtres. | Contenance en mètres cubes. | extérieure. | intérieure moyenne. | |
| 2 | 12 | 23,800 | — 2 | + 13 | 2295 |
| 2 | 12 | 23,800 | — 14 | 4 | 2325 |
| 2 | 12 | 22,600 | — 2 | 9,5 | 2180 |
| 2 | 12 | 25,600 | + 2 | 11 | 2745 |
| 4 | 16 | 28,300 | — 14 | 8 | 3038 |
| 4 | 16 | 28,300 | — 2 | 15,2 | 3160 |

La quantité de chaleur dégagée par seconde est, d'après la loi de Joule, proportionnelle à la puissance électrique dépensée EI ; si la tension E est exprimée en volts et le courant en ampères, l'énergie dépensée est, en kilogrammètres par seconde,

$$Q = \frac{E\,I}{9{,}81}$$

et, en se rappelant que l'équivalent calorifique de 1 kilogrammètre est 424 calories, le nombre de calories produites par seconde est

$$\frac{E\,I}{9{,}81 \times 424}$$

soit par heure

$$\frac{3\,600\ E\,I}{9{,}81 \times 424} = \frac{E\,I}{0{,}8655}$$

Un hectowatt-heure est ainsi équivalent à 86,55 calories.

En admettant une production de 1 300 calories, correspondant à une consommation moyenne de 1,5 kw.-h. à 0,10 fr. le kilowatt-heure, le chauffage électrique reviendrait à 0,15 fr. par heure ou à 2,25 fr. par journée de quinze heures.

Ce chiffre de consommation est celui qui a été reconnu nécessaire sur la ligne de Bruxelles à la Petite-Espinette pour maintenir la température intérieure des voitures à 10° au-dessus de la température extérieure. A Dresde, où le chauffage électrique est également appliqué, le coût du chauffage, par des froids de — 6° à

Digitized by Google

— 8° et pour un service journalier de 18 heures, est de 2,25 fr. à 2,50 fr. par voiture et par jour.

Ce prix est encore très élevé par rapport à celui du chauffage par briquettes, par exemple, qui ne coûte que 0,60 fr. à 0,75 fr. par jour.

Les dépenses d'installation des appareils sont à peu près les mêmes dans les deux cas : 125 fr. par voiture environ.

Mais il faut porter à l'actif du chauffage électrique qu'il permet un réglage de la température bien plus facile et précis que les autres systèmes ; la manipulation de l'appareil est d'une simplicité extrême ; il tient peu de place, est propre, hygiénique, et absolument exempt de dangers et d'odeur.

Différentes formes de radiateurs sont employées. On peut les classer en deux catégories, suivant le principe de leur construction :

*Radiateurs du premier type.* — Le premier type de radiateur et le plus ancien

Fig. 352. — Radiateur à fil nu (American Heater).

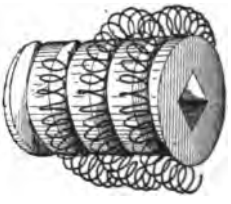


Fig. 353. — Elément d'un radiateur de la Consolidated Car Heating Co.

est caractérisé par l'emploi de résistances chauffées par le passage du courant et refroidies par simple convection dans l'air ambiant.

Un des premiers modèles construits aux États-Unis d'après ce principe, l'appareil *Burton*, consistait essentiellement en un fil de maillechort replié en zigzag et noyé dans un lit d'argile refractaire pulvérisée, maintenu entre deux plaques de fonte. L'argile avait pour rôle d'isoler le fil et d'empêcher son oxydation au contact de l'air ; mais, en même temps, elle faisait obstacle au dégagement de la chaleur, en sorte que la température du conducteur s'élevait au point d'amener la fusion du zinc entrant dans la composition de l'alliage, et l'appareil se trouvait ainsi mis rapidement hors de service.

On a eu recours alors à des fils nus, simplement suspendus dans l'air sur des isolateurs (fig. 352), en employant de plus gros diamètres et des longueurs plus grandes pour éviter un échauffement exagéré du conducteur. Presque tous les radiateurs actuellement employés en Amérique sont établis de cette façon.

L'un des plus répandus, le Consolidated Heater, est composé d'éléments formés chacun d'une spirale en fil de fer galvanisé, enroulée en hélice autour

Digitized by Google

d'un tube de porcelaine (fig. 353) ; ce mode de construction présente l'avantage d'empêcher les vibrations et de permettre au fil de se dilater librement sans que ses différentes spires puissent venir en contact les unes avec les autres.

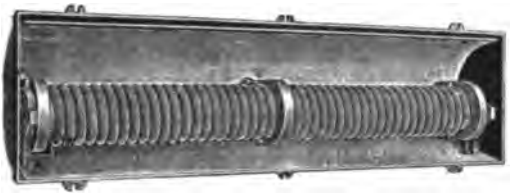


Fig. 354. — Radiateur de la Consolidated Car Heating Co.

L'appareil terminé présente l'apparence indiquée sur la figure 354.

Le fer est particulièrement bien approprié à la construction des radiateurs parce que sa résistance électrique augmente rapidement avec la température[1]. Il s'en suit que si, pour une cause quelconque, le dégagement de chaleur vient à être empêché[2], le fil de fer s'échauffe, et cet échauffement même a pour effet de réduire automatiquement le courant qui traverse le fil et par suite de modérer l'élévation de température. Cette action régulatrice est clairement indiquée par les courbes de la figure 355, qui montrent les résultats obtenus en couvrant et découvrant successivement l'ouverture d'un radiateur du type qui vient d'être décrit.

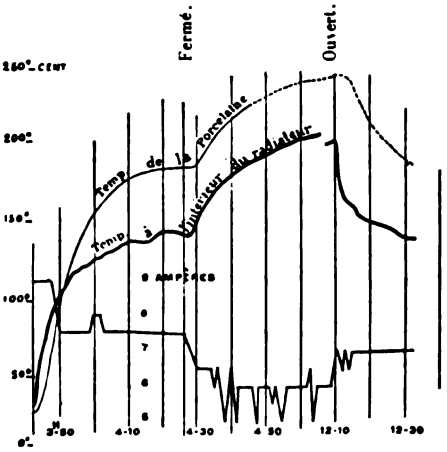



Fig. 355. — Courbes des températures et des intensités de courant dans un radiateur électrique successivement fermé et ouvert.

La figure 356 représente un appareil du même genre, dont les éléments sont des spirales de fil de fer emprisonnées entre deux plaques d'amiante ou de porcelaine.

Un autre type de radiateur très employé est constitué par une toile en fils métalliques isolés les uns des autres au moyen d'amiante, qui est enduite d'un vernis isolant, puis fixée sur une plaque de carton d'amiante.

[1] Cette variation est donnée approximativement par la formule

$$\rho = 10\,(1 + 0{,}004\,t)$$

$t$ étant la température en degrés.

[2] Comme cela se produit par exemple dans une voiture de tramway où les radiateurs sont placés sous les banquettes, lorsque les vêtements des voyageurs viennent fermer plus ou moins complètement l'orifice par lequel se dégage l'air chaud.

Digitized by Google

On emploie pour le chauffage des voitures plusieurs groupes de ces appareils, qui sont généralement placés sous les banquettes. Un commutateur permet de faire varier la résistance totale suivant le degré de chaleur qu'on désire obtenir, en changeant le groupement des radiateurs ou en modifiant simultanément la résistance intérieure de chacun d'eux.

Il y a ordinairement trois positions du commutateur, correspondant respectivement à des intensités de courant de 3, 5 et 8 ampères.

En France, la maison *Hamelle* construit des radiateurs analogues comme

**Fig. 356. — Radiateur Gold.**

principe au dernier type décrit et consistant en un fil de maillechort de 0,30 mm. de diamètre, enroulé sur un carton spécial incombustible qui est ensuite enduit d'isolant et placé entre deux autres cartons isolants. Sur la ligne de Romainville, où ces radiateurs sont employés, chaque voiture est équipée avec deux plaques chauffeuses mesurant $2 \times 0,25 \times 0,025$ m. et enfermées dans des chaufferettes en tôle; avec une consommation de courant de 1 ampère sous 550 volts, on obtient une température de 60° sur les cartons, ce qui correspond à 35 ou 38° sur les chaufferettes. Il n'y a pas de système de réglage du courant.

Tous ces appareils ont un inconvénient commun : le faible coefficient de transmission de la chaleur par convection d'une surface chauffée à l'air ambiant, même lorsqu'il circule facilement autour de cette surface, force à accepter des températures très élevées, 150° à 200°, pour les fils qui constituent la résistance métallique, et à donner à ceux-ci un grand développement pour en accroître la surface de rayonnement.

*Radiateurs du 2e type.* — On obtient une meilleure solution du problème en dissipant la chaleur non plus par *convection*, mais plus efficacement par *conduction;* on peut alors diminuer la surface totale du fil et, par suite, son diamètre et sa longueur, sans craindre une élévation de température exagérée; une même quantité de fil permet ainsi de convertir dans le même temps plus d'énergie électrique en chaleur. On réalise ce procédé de refroidissement en mettant le fil résistant en contact intime avec une surface métallique conductrice de la chaleur dont il est isolé électriquement. Il serait désirable de trouver pour cet usage un corps réfractaire à la fois isolant pour l'électricité et bon conducteur de la chaleur; mais, comme on le sait, ces deux propriétés s'excluent réciproquement. On tourne la difficulté en réduisant l'épaisseur de l'isolant, qui est généralement en verre ou en émail, aucune autre matière ne possédant les mêmes qualités pratiques.

La *Société du Familistère de Guise* et la *Maison Crompton and Co*, de Londres.

Digitized by Google

ont basé sur ce principe des appareils de chauffage fort intéressants [1], dont elles ont fait l'application aux tramways. Le fil, qui est courbé en forme sinusoïdale pour atténuer sa dilatation linéaire, est noyé dans un verre de composition spéciale, collé sur la face interne d'une plaque de fonte dont la face extérieure est garnie de nervures très minces pour augmenter la surface rayonnante ; cet isolant a une résistance électrique à peu près égale à celle du verre ordinaire et un point de fusion compris entre 800° et 900° ; sa composition lui assure une élasticité voisine de celle de la fonte, ce qui permet d'éviter les craquelures et les ruptures dues aux dilatations, à condition de ne pas trop élever la température.

Fig. 357. — Radiateur de la Société du Familistère de Guise.

La pratique a conduit les constructeurs à ne dépasser en aucun cas, dans le fil, la température maxima de 300° à 350°, et on admet dans ce but une limite de 200° pour la température de la surface de la plaque métallique qui le porte. Le calcul du refroidissement sur les deux faces et l'expérience directe ont montré que, dans ces conditions, on peut débiter normalement 100 et même jusqu'à

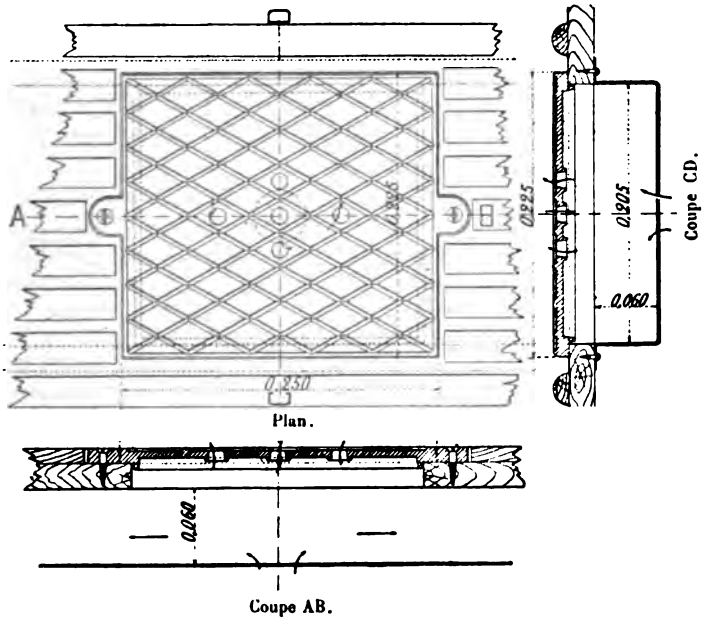



Fig. 358. — Chauffe-pieds de la Société du Familistère de Guise.

120 watts par décimètre carré de surface extérieure de plaque (ce qui correspond à 86 et 104 calories par heure.)

[1] Cf. L.-V. Colin, *le Chauffage électrique* (*Bulletin de la Société Internationale des Électriciens*, 3 février 1897).

Digitized by Google

Les plaques chauffeuses ainsi constituées peuvent être placées verticalement sous les banquettes ou horizontalement sous les pieds des voyageurs. Le modèle qui convient le mieux dans le premier cas est le type de 500 watts, qui mesure 0,25 m. de longueur et 0,20 m. de hauteur (fig. 357). Sur une distribution à 550 volts, on peut placer deux de ces plaques sous chaque banquette, soit quatre pour la voiture, en les groupant par deux en série; chacune présente à chaud une résistance de 137 ohms au régime de 2 ampères × 275 volts; un commutateur permet de mettre en circuit une ou deux séries et par suite de régler la quantité de chaleur dégagée, qui correspond à 1 100 ou 2 200 watts. Le système des plaques chauffeuses sous les pieds des voyageurs n'est applicable qu'aux voitures qui n'ont pas de trappes de visite; avec ce système le nombre total des plaques par rangée est égal au nombre des voyageurs. La figure 358 représente le type de 200 watts, qui convient pour une voiture à 14 places assises et qui se monte en deux rangées de 7; on peut compter, dans ce cas, 2 ampères par rangée de chauffe-pieds, soit encore 4 ampères ou 2 200 watts par voiture.

Le prix de ces plaques chauffeuses est de 1,25 fr. à 1,50 fr. le décimètre carré.

**Dispositions des circuits sur une voiture.** — Les connexions nombreuses entre le trôlet, les appareils de manœuvre et les moteurs se font à l'aide de fils ou câbles isolés de la manière la plus convenable pour prévenir les accidents. Il est bon d'expliquer les règles que l'on suit dans la disposition de ces circuits :

Ceux-ci se divisent en deux catégories : 1° le circuit d'amenée du courant et le circuit d'éclairage, qui sont disposés sous le plafond; 2° les circuits de régulation allant du régulateur aux moteurs et, le cas échéant, le circuit de chauffage, qui sont disposés sur ou sous le plancher. Dans le cas du retour par la terre, tous ces circuits vont aboutir au truck et de là aux rails.

*Circuits du plafond* (fig. 359). — Le conducteur principal part de la base du trôlet et traverse la voiture jusqu'à l'une des plates-formes, puis revient à l'autre et descend le long d'un poteau d'angle. Dans ce trajet, il traverse successivement un coupe-circuit fusible, puis deux interrupteurs J, J', placés respectivement au-dessus de chacune des plates-formes à portée du mécanicien (de façon que celui-ci puisse toujours, sans se déplacer, mettre la voiture hors circuit); le fusible est placé de même et facile à visiter; les fils fusibles employés sont généralement en cuivre. Sur ce circuit est dérivé, avant les interrupteurs principaux, un petit circuit d'éclairage servant à alimenter les lampes à incandescence et qui aboutit aux essieux. Ce circuit est protégé, de chaque côté ou tout au moins à son origine, par un interrupteur et un fusible F. La dérivation d'éclairage est faite avant l'interrupteur de la plate-forme pour éviter de plonger la voiture dans l'obscurité.

Les conducteurs du circuit d'éclairage sont placés en général pendant la construction des voitures; il est bon de loger les fils sous des moulures ou mieux dans des tubes isolants fixes, comme on le fait aujourd'hui dans

Digitized by Google

certains appartements; on peut alors introduire et changer les fils à volonté sans endommager la voiture.

*Circuits du plancher* (fig. 359). — En descendant du plafond, le fil principal aboutit d'abord à un coupe-circuit ou à un interrupteur automatique, à un parafoudre de type spécial, puis au régulateur, à l'inverseur et aux moteurs. Tous les fils de connexion entre les divers organes sont solidement recouverts et isolés; ils sont réunis autant que possible en gros câbles soigneusement isolés en caoutchouc recouvert d'une enveloppe protectrice (en toile bitumée par exemple); après avoir traversé le plancher par des trous appropriés, chaque fil se sépare du câble à l'endroit convenable pour aboutir à l'appareil voulu; pour faciliter le montage, tous ces fils sont étiquetés à leurs deux extrémités d'après les numéros correspondants des bornes; on les fait passer de préférence sous les sièges de la voiture, une fois la caisse mise en place sur le truck. On doit au contraire éviter aux voyageurs le voisinage dangereux du fil de terre du parafoudre, en le plaçant sous le plancher où on le fait

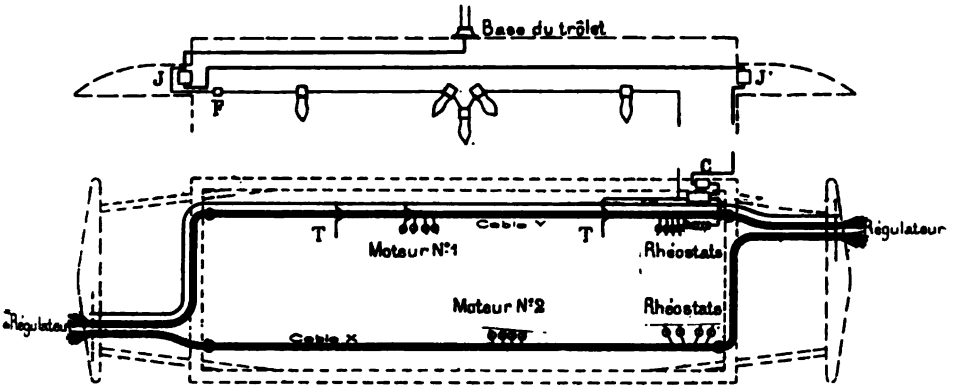



Fig. 359. — Circuits du plafond et du plancher (General Electric Co).

aboutir au truck. Le parafoudre lui-même est décrit plus loin au chapitre des *Appareils de sécurité*.

Quand on marche avec deux ou plusieurs moteurs sur une voiture, il est bon de disposer sur le circuit un interrupteur spécial permettant, en cas d'avarie à l'un des moteurs, de le mettre hors circuit et de continuer la route avec l'autre jusqu'au dépôt.

*Emploi de deux régulateurs.* — Il est nécessaire pour éviter le retournement de la voiture aux extrémités de la ligne qu'on puisse commander la marche à volonté de l'une ou l'autre des plates-formes. Ce résultat peut à la rigueur être atteint à l'aide d'un seul régulateur placé sous la voiture et commandé par une transmission de chaque plate-forme, comme cela se faisait avec la régulation Thomson-Houston par rhéostat. Mais aujourd'hui on préfère en général employer deux régulateurs distincts placés chacun sur une plate-forme et couplés en parallèle par rapport aux fils courants des appareils soumis aux combinaisons du commutateur. Chacun d'eux peut alors établir entre ces fils

Digitized by Google

les liaisons voulues, à condition que l'autre régulateur ait été mis hors circuit en amenant la manette à la position de départ, comme doit toujours le faire le mécanicien avant de quitter une plate-forme.

Lorsqu'on établit les connexions des deux régulateurs avec les fils venant des moteurs, il faut remarquer que le sens de marche qui constitue la marche avant pour l'une des plates-formes est une marche arrière pour l'autre plate-forme ; il faut donc avoir soin, si les deux appareils sont exactement semblables, que les connexions de l'un d'eux avec les bornes des inducteurs (ou de l'induit) soient faites en sens inverse de celles de l'autre, comme on le voit sur le schéma de la figure 359.

*Circuit de chauffage.* — Lorsqu'on emploie le chauffage électrique, on est conduit à ajouter un circuit spécial dérivé de la même manière que celui des lampes et contenant un certain nombre de radiateurs. Ce circuit doit être muni de même d'interrupteurs et de fusibles spéciaux. Comme on l'a vu plus haut,

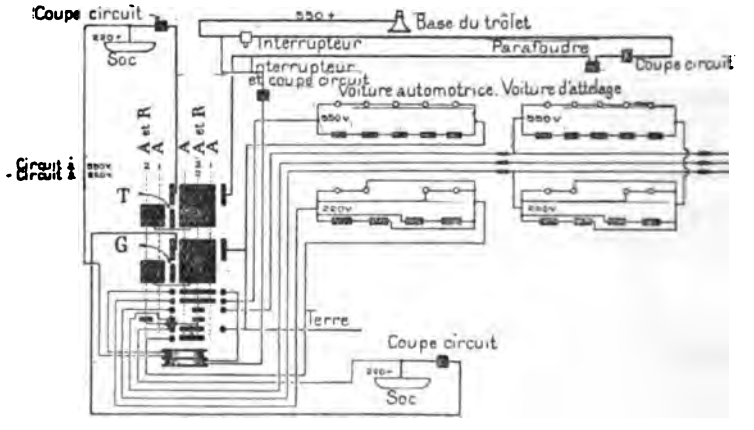



**Fig. 360.** — Circuits pour voltages différents (Washington, Alexandria and Mt Vernon R. R.).

Les points ronds ou séries de points ronds indiquent des frotteurs, les rectangles noirs des surfaces métalliques ; T, frotteur relié au trôlet ; G, frotteur relié à la terre ; A, automobile ; A et R, automobile et voiture remorquée.

ce circuit peut se subdiviser en plusieurs dérivations contenant chacune un ou plusieurs radiateurs.

*Cas où l'on emploie des voltages différents.* — Lorsque la voiture est destinée à circuler sur des lignes présentant des voltages différents, comme c'est le cas par exemple sur celle de Washington, Alexandria and Mount Vernon[1], on est obligé d'adopter pour les circuits principaux et d'éclairage des dispositions spéciales qui permettent l'alimentation des appareils et des lampes sous différentes tensions.

[1] Cette ligne, qui est à fil aérien sur la plus grande partie de sa longueur, pénètre dans la ville de Washington par un tronçon à distribution souterraine, sur lequel la

Digitized by Google

La disposition de la figure 360 permet d'obtenir ce résultat par l'emploi de deux circuits de lampes et de radiateurs. Sur l'un, ces appareils sont par 5 en série à 600 volts, sur l'autre, par 2 seulement à 220 volts. Un commutateur général permet de mettre à volonté les premiers circuits en communication avec le trôlet ou les seconds en communication avec le frotteur de prise de courant en caniveau. Ce commutateur est représenté développé sur un plan (les balais sont figurés en coupe par des ronds ou séries de ronds noirs, les parties métalliques par des rectangles noircis). Il peut prendre cinq positions; le balai G est relié à la terre, le balai T au trôlet. On voit aisément que dans les positions de gauche les lampes et les radiateurs sont alimentés par le frotteur de prise de courant souterraine et dans les positions de droite par le trôlet; dans les positions A, le courant est envoyé seulement dans l'automobile; dans les positions A et R, il alimente en dérivation l'automobile et la voiture remorquée.

## § 6. — Appareils accessoires

**Attelages.** — Sur les tramways, la barre d'attelage est toujours placée dans l'axe de la voiture.

L'attelage se fait très simplement, à l'aide d'un chaînon pénétrant dans une entaille ménagée dans la pièce formant tête d'attelage, où il est maintenu en place par un goujon.

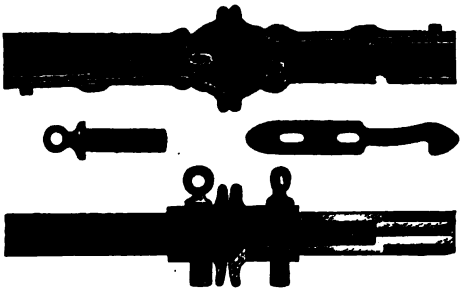


Fig. 361. — Attelage automatique van Dorn.

La barre d'attelage est le plus souvent articulée sur la charpente de la plate-forme; cependant certains constructeurs, en France notamment, l'articulent sur le châssis du truck, ce qui est plus logique. De toutes façons, la liaison entre la barre d'attelage et la voiture se fait par l'intermédiaire d'un appareil élastique, formé généralement d'un ressort en spirale.

Au contraire, les tampons sont très rarement à ressorts.

Quelques voitures électriques américaines présentent des attelages plus perfectionnés, analogues aux attelages automatiques en usage sur les chemins de fer des Etats-Unis. La figure 361 représente un de ces appareils, dans lequel chaque barre se termine par un tampon présentant en son milieu une ouverture évasée: par l'ouverture d'un des tampons pénètre la tête du crochet, qui se trouve fixé d'autre part par un goujon dans l'ouverture opposée, et il suffit de refouler les deux véhicules l'un sur l'autre pour que le crochet soit mis en

tension a été réduite de 600 à 220 volts, afin d'assurer un meilleur isolement des conducteurs et de mieux se prêter aux faibles vitesses prescrites à l'intérieur de la ville.

Digitized by Google

prise sur un second goujon par des ressorts à lame appropriés et opère l'attelage. Chaque barre est reliée à la charpente de la voiture par un assemblage à rotule.

Sur les chemins de fer électriques, on emploie des appareils d'attelage absolument identiques à ceux des wagons ordinaires.

**Chasse-corps et protecteurs.** — Une multitude de dispositifs ont été imaginés pour empêcher les accidents de personnes dus à la rencontre des voitures de tramways électriques.

Ces appareils peuvent se subdiviser en deux groupes :

1° Les protecteurs destinés à *ramasser* les personnes tombées devant la voiture ;

2° Les chasse-corps destinés à les *repousser sur le côté*.

En Europe, on emploie presque exclusivement des appareils appartenant à la deuxième catégorie. Ils sont ordinairement composés d'un cadre triangulaire en bois ou en tôle, fixé d'une manière rigide à l'avant du truck, à une dizaine de centimètres de distance du sol, et complété quelquefois par un treillis latéral extérieur aux roues.

Fig. 362. — Mode d'action d'un protecteur américain.

La protection offerte par des chasse-corps de ce genre est, à notre avis, insuffisante, car ils n'empêchent pas les passants tamponnés par la voiture de recevoir un choc souvent assez violent pour occasionner des blessures ou des fractures graves. Nous n'avons pas encore, en Europe, l'habitude des grandes vitesses ; mais, avec le développement de la traction électrique, nous serons certainement obligés de perfectionner nos appareils de sécurité. Ce n'est pas sans motifs que les Américains ont inventé une telle quantité de « fenders » ou protecteurs[1] ayant pour but de parer non seulement à l'écrase-

[1] Littéralement « défendeurs », le mot fender n'étant qu'une corruption du verb français défendre.

Digitized by Google

ment des personnes renversées, mais encore aux accidents produits par le simple tamponnement.

La plupart comprennent comme organe essentiel une sorte de pelle ou de filet élastique attaché en avant de la plate-forme et dont la fonction consiste à amortir le choc de la voiture pour la personne tamponnée et à la recevoir avant qu'elle ne touche terre, ou encore à ramasser les piétons tombés accidentellement sur la voie. C'est le « pick-up fender » ou fender ramasseur, dont la figure 362 montre le mo le d'action.

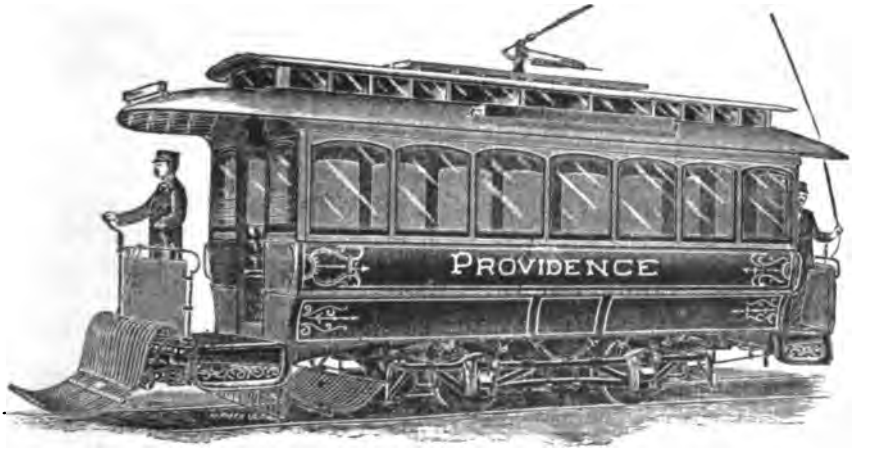



Fig. 363. — Protecteur manœuvré par le mécanicien.

La difficulté, avec ces appareils, c'est que si on les établit trop près du sol, ils risquent d'être détériorés par le frottement sur le pavage dans les mouvements de galop de la voiture ; si, au contraire, on les place trop haut, le corps d'une personne tombée peut passer sous le protecteur, qui devient alors beaucoup plus nuisible qu'utile.

Pour parer à cet inconvénient, on a imaginé des protecteurs montés sur galets et constituant une sorte de berceau ou de sommier élastique roulant en avant de la voiture.

Fig. 364. — Protecteur automatique Shield.

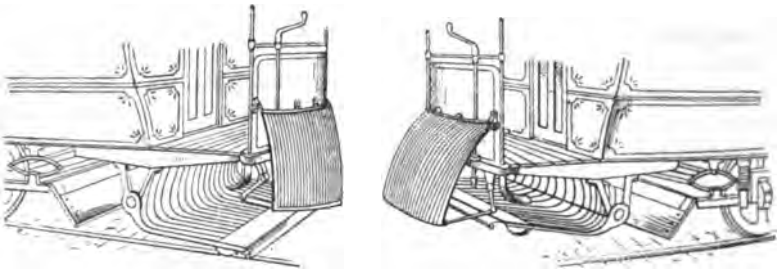
D'autres appareils sont placés normalement à une hauteur suffisante pour qu'ils ne puissent toucher le sol et sont abaissés par le mécanicien seulement en cas de danger; la figure 363 montre un de ces appareils, manœuvré par un bouton au pied du mécanicien. Dans un ordre d'idées analogue, on construit des appareils qui sont habituellement dissimulés sous la plate-forme de la voiture et que le mécanicien peut amener rapidement en avant.

On fait aussi des protecteurs du même genre à action automatique, qui se



Digitized by Google

rabattent d'eux-mêmes sur la voie dès qu'ils rencontrent une obstruction : ainsi, dans l'appareil représenté par la figure 364, le panneau inférieur est maintenu relevé par l'intermédiaire d'un déclic, qui joue au moindre choc



Protecteur en action. Protecteur prêt à agir.

Fig. 365. — Protecteur automatique Hunter.

sur la traverse antérieure du cadre. La figure 365 montre une forme différente de fender, comportant en avant un tampon élastique destiné à céder sous le choc en provoquant l'abaissement d'une sorte de pelle placée sous la plate-forme.

Quel que soit le type de protecteur adopté à l'avant de la voiture, il est

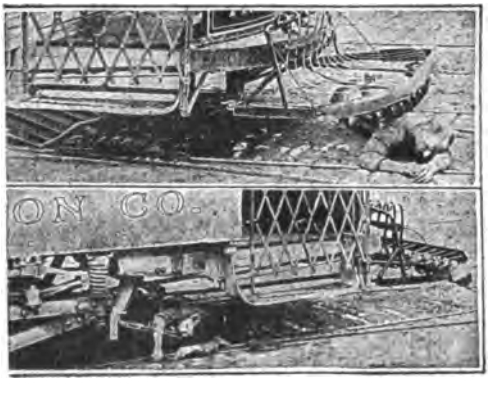


Fig. 366. — Mode d'action d'un garde-roues américain.

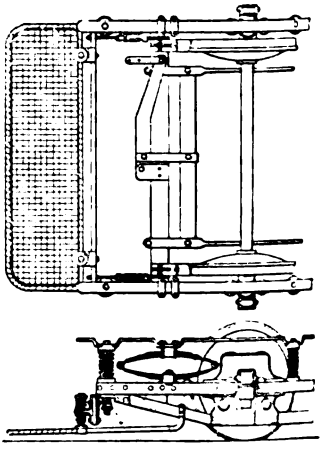


Fig. 367. — Garde-roues Peckham. Plan et élévation.

nécessaire de disposer un second appareil de sécurité immédiatement devant les roues pour ramasser tout objet qui aurait échappé au premier (fig. 366) ; le protecteur de roues ou « wheel-guard fender », étant attaché au châssis du truck, qui n'est soumis qu'à des oscillations relativement faibles, peut être abaissé jusqu'à 6 centimètres environ du niveau du pavage. La figure 367 montre un appareil de ce genre, qui, comme les premiers, est destiné à ramasser les personnes tombées et non à les pousser sur le côté. La caractéris-

Digitized by Google

tique de ces garde-roues américains, comme celle des précédents appareils, c'est d'être élastiques à la fois comme construction et comme suspension ; leur traverse antérieure notamment est faite aussi flexible que possible.

Bien que les Législatures d'un certain nombre d'États, notamment ceux de Massachussets, de Pennsylvanie, de New Jersey, aient rendu l'emploi des protecteurs obligatoire, on n'en a pas encore trouvé qui soit absolument exempt de défauts. Les conditions à remplir sont en effet fort délicates : l'appareil placé en avant doit autant que possible être automatique dans son action, car le mécanicien a suffisamment à faire en cas de danger avec ses freins ; ce protecteur ne doit pas risquer de blesser les personnes tombées qu'il n'aurait pu ramasser ; il ne doit pas faire une trop grande saillie en avant de la plate-forme, car il constituerait alors un véritable danger pour les passants traversant la voie ; enfin, il doit pouvoir se replier facilement de façon à ne pas occuper trop de place quand la voiture est remisée. De son côté, l'appareil placé devant les roues doit raser le sol d'aussi près que possible, sans cependant risquer d'être endommagé par les oscillations de la voiture, ni par les obstacles placés sur la chaussée ; il ne doit pas pouvoir se soulever sous le choc d'un corps tombé sur la voie.

Les appareils que nous avons cités sont parmi ceux qui paraissent avoir donné les meilleurs résultats.

L'emploi des protecteurs aux États-Unis a incontestablement diminué le nombre des accidents de personnes dus aux tramways électriques et l'on ne devrait pas hésiter à adopter des systèmes

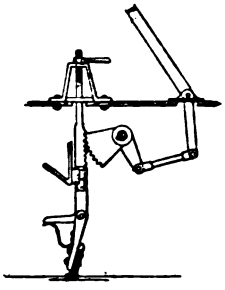


Fig. 368. — Balai à rails.

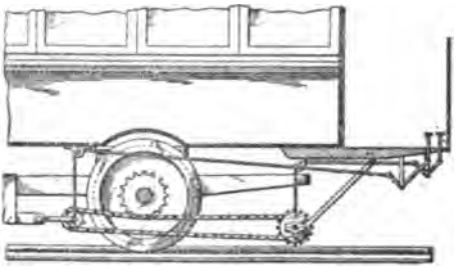


Fig. 369. — Brosse rotative pour nettoyer les rails.

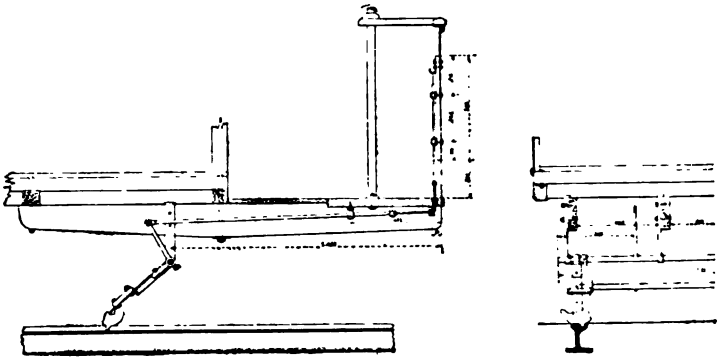
analogues en Europe, dans tous les cas où la vitesse des voitures électriques est un peu grande[1].

Il ne faut pas perdre de vue toutefois qu'il n'y a qu'un moyen absolument efficace d'empêcher les accidents : c'est d'employer pour conduire les voitures un personnel attentif et expérimenté, et de maintenir toujours les freins en parfait état de fonctionnement.

[1] Des protecteurs du type américain sont déjà en service au Havre, à Budapest, etc.

Digitized by Google

**Balais.** — On dispose quelquefois en avant des roues un balai métallique

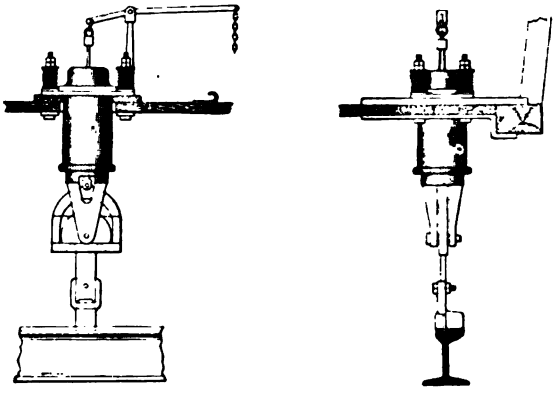


Élévation longitudinale. Élévation transversale.

Fig. 370. — Racloir pour la gorge des rails (modèle des tramways de Hambourg).

frottant sur les rails. Cet appareil est utile pour assurer un bon contact électrique par tous les temps.

Les figures 368 et 369 représentent des dispositifs de ce genre.



Élévation longitudinale. Élévation transversale.

Fig. 371. — Racloir pour la gorge des rails. (modèle de la Cie Thomson-Houston).

D'autres appareils sont employés pour nettoyer l'ornière des rails (fig. 370 et 371).

**Boîtes à sable.** — Lorsque l'adhérence devient insuffisante, on l'augmente artificiellement en laissant couler du sable fin sur les rails, devant les roues. Le sable destiné à cet usage, convenablement tamisé et séché, est emmagasiné dans des boîtes, généralement placées sous les banquettes de la voiture; il s'écoule sur chaque rail par un tuyau contournant la roue et commandé par un obturateur à la main ou au pied du mécanicien. La figure 372 montre

Digitized by Google

un exemple de sablière de ce genre. Il en existe, du reste, une foule de modèles, plus ou moins différents dans les détails. Pour empêcher le sable de s'agglo-

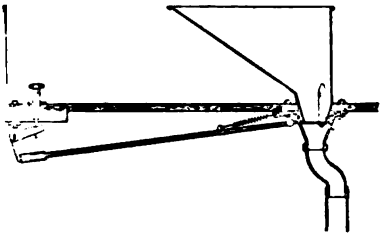


Fig. 372. — Boîte à sable.

mérer sous l'influence de l'humidité, certaines boîtes à sables sont traversées par un arbre muni de crochets ou par une sorte de broyeur qui tourne sous l'action du levier de commande.

## § 7. — Voitures électriques spéciales

Il nous reste un mot à dire des voitures affectées à des usages spéciaux, tels que machines à neige, tonneaux d'arrosage, balayeuses électriques, etc.

**Machines à neige.** — La neige constitue dans certains pays un gros obstacle à la circulation des tramways. La traction électrique permet de supprimer pour ainsi dire absolument les interruptions de service, grâce au rapide déblaiement des voies qu'on peut obtenir à l'aide des chasse-neiges, voitures à sel, etc., mus électriquement.

Quelques compagnies se servent de voitures spéciales pour répandre le sel ; mais, le plus souvent, on combine ce répandage avec l'emploi d'un des appareils que nous allons décrire.

En cas de neige peu abondante, un simple balayage suffit pour dégager la voie. On emploie alors des *balayeuses électriques*, dont la figure 373 offre un exemple : la machine porte à chacune de ses extrémités un balai-brosse en fils d'acier, placé obliquement par rapport à l'axe de la voiture ; elle est munie de trois moteurs, un pour chacun des essieux et le troisième pour les brosses ; ce dernier, placé à l'intérieur de la voiture, attaque un arbre auxiliaire actionnant les deux balais à la fois au moyen d'une transmission par chaînes, qui leur permet de s'élever ou de s'abaisser suivant les besoins. Cette commande par moteur séparé, qui rend la vitesse des balais indépendante de celle de la voiture, permet d'obtenir un balayage excellent.

Digitized by Google

ne de ce genre coûte, en Amérique, de 12 à 15 000 francs. Cer-

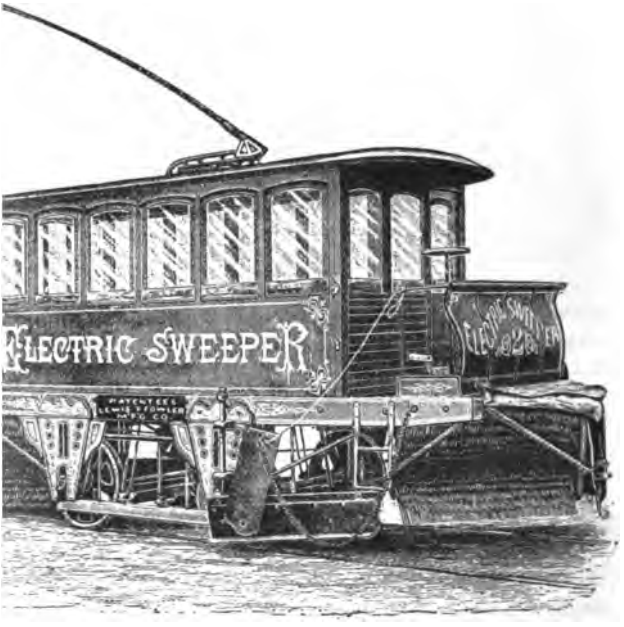
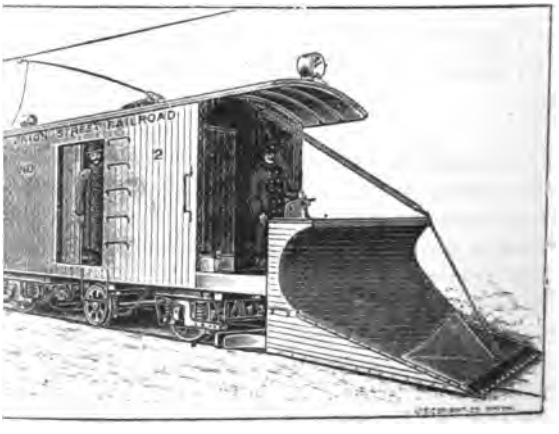



Fig. 373. — Balayeuse électrique.

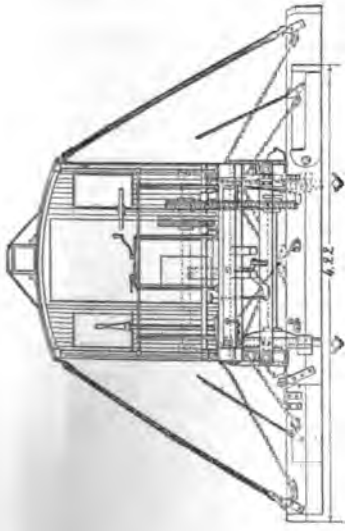
elles ont une action tellement énergique qu'elles font voler la la hauteur d'un premier étage.



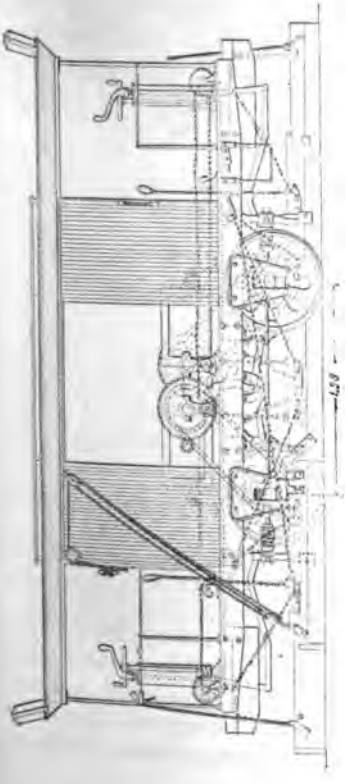

g. 374. — Fourgon électrique converti en chasse-neige.

es électriques commencent à se répandre en Europe ; la maison

Digitized by Google



Elévation transversale



Elévation longitudinale.

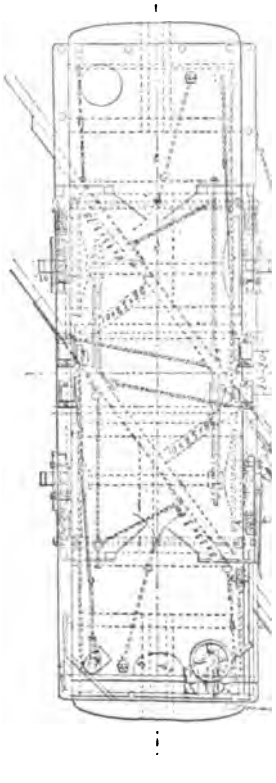


**Fig. 375. — Charrue chasse-neige (tramways de Buffalo).**

Digitized by Google

Siemens et Halske notamment en a construit plusieurs pour Budapest, Hanovre, etc.

Lorsque la couche de neige est plus épaisse, on emploie des *charrues chasse-neige*, qui peuvent être poussées par une voiture électrique ordinaire ou montées sur un véhicule spécial. La figure 374 montre un fourgon à bagages ainsi converti en chasse-neige et la figure 375 un modèle de charrue électrique indépendante en service à Buffalo ; cette dernière est actionnée par deux moteurs disposés sur le plancher de la voiture, à l'abri de la neige et de la

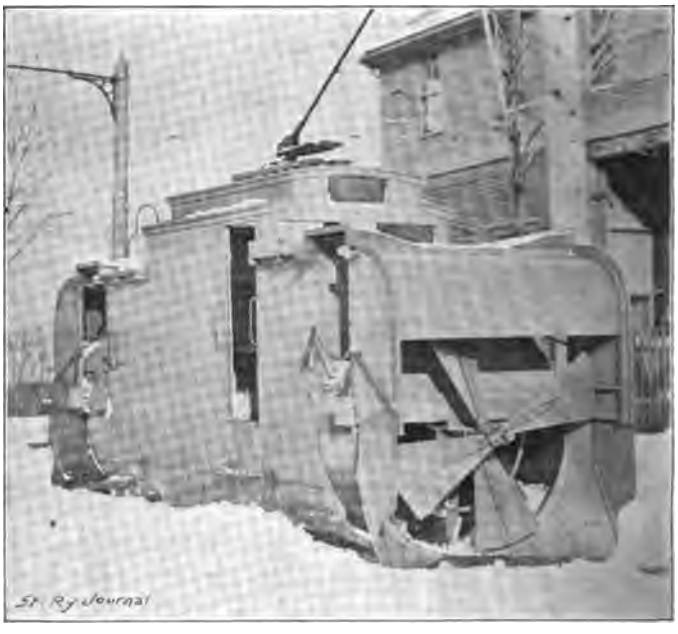



Fig. 376. — Chasse-neige rotatif.

boue, et qui commandent chacun un essieu par l'intermédiaire d'une chaîne sans fin. L'ouverture du chasse-neige peut être modifiée à l'aide de deux ailes qui se rabattent autour de charnières et sont maintenues en position par des haubans.

Certaines charrues à neige sont établies de manière à déblayer les deux voies à la fois.

Nous citerons enfin les machines à neige rotatives (fig. 376), destinées à découper la neige et à la chasser sur l'un des côtés de la voie au moyen d'une sorte d'hélice commandée par un moteur indépendant.

Les charrues dégagent bien la voie ferrée, mais elles ne permettent pas d'enlever les derniers centimètres de neige, ni surtout la couche de glace adhérente aux rails, qui paralyse la marche des automobiles beaucoup plus encore qu'une faible couche de neige ; il est indispensable, par suite, d'employer concurremment une balayeuse électrique, qui achève de nettoyer

Digitized by Google

la voie, ou tout au moins d'adjoindre à la charrue proprement dite des racloirs

Fig. 377. — Tonneau d'arrosage électrique.

spéciaux appuyés sur les rails, tels que ceux dont il vient d'être question.

Fig. 378. — Voiture d'arrosage électrique.

**Voitures d'arrosage; balayeuses.** — On se sert beaucoup aux États-Unis des tramways électriques pour arroser rapidement de grandes étendues de

Digitized by Google

aussées. Les figures 377 et 378 montrent deux spécimens des engins em-
oyés à cet effet ; dans le second, dont le réservoir est dissimulé sous une
isse présentant extérieurement l'apparence d'une voiture de tramway ordi-
ire, le tuyau d'arrosage porte un prolongement qui permet d'envoyer le jet
grande distance, mais en barrant complètement la chaussée.
Pour éviter cet inconvénient, certains constructeurs adaptent à leurs
itures d'arrosage une petite pompe commandée par un moteur électrique
écial ou par l'un des essieux à l'aide d'une transmission appropriée ; on
ut ainsi arroser une zone s'étendant jusqu'à 12 mètres de chaque côté de
voie.
Certaines de ces voitures ont des réservoirs de 15 000 litres de capacité.
Mentionnons enfin les balayeuses électriques, basées sur le même principe que
brosses à tapis américaines et qui ramassent les ordures dans un récipient
rté par la voiture elle-même ou dans un petit fourgon placé à l'arrière.

## § 8. — Prix des automobiles électriques

Le prix des automobiles électriques est essentiellement variable
ec le type et la capacité considérés, les spécifications impo-
es au constructeur, l'importance de la commande, etc.
Les prix suivants ne doivent par suite être considérés que comme
s moyennes pouvant tout au plus servir de base dans une esti-
ation d'avant-projet.
Un truck de tramway à deux essieux rigides, genre américain,
mplet, avec ses trains de roues, ressorts de suspension, freins à
ain, etc., mais sans moteurs, coûte environ 1 500 à 2 000 fr.
Les caisses fermées à deux plates-formes ouvertes, sans impé-
le, d'une contenance de 30 à 40 voyageurs, valent de 4 000 à
)00 fr., suivant leur aménagement.
Celles à 50 places (dont moitié au moins debout) montent à 5 ou
)00 fr.
On peut dire, en somme, qu'une automobile de tramway du type
éricain usuel, complète, mais sans moteurs ni agencement élec-
que d'aucune sorte, coûte approximativement 5 500 à 6 500 fr.
sque le nombre de places ne dépasse pas 40, et 6 000 à 8 000 fr.
delà de 40 places. Ces prix dépendent naturellement du fini et
luxe intérieur de la caisse.
Le prix des voitures à impériale n'est pas sensiblement plus
vé : pour une voiture complète à impériale de 50 places destinée
a traction électrique, il faut compter environ 7 000 à 8 000 fr.

Digitized by Google

Quant au prix des voitures d'attelage, train de roues compris, il ne dépasse généralement pas 4 000 à 5 000 fr.

A la dépense d'achat du véhicule proprement dit vient s'ajouter, pour les voitures automobiles, celle de l'équipement électrique.

Pour en donner une idée, nous dirons qu'un moteur de 15 chev. *effectifs* avec sa transmission coûte en moyenne de 2 500 à 3 500 fr.

Un moteur de 20 à 25 chev. coûte environ 1 000 fr. de plus, soit 3 500 à 4 500 fr.

Les prix des appareils de réglage et accessoires, y compris l'installation de l'éclairage électrique, varie entre 2 000 et 2 500 fr. (dont environ 1 300 fr. pour les deux régulateurs, 500 fr. pour l'appareil de prise de courant et 150 fr. pour l'éclairage), et l'équipement électrique complet peut être évalué de 5 000 à 7 000 fr. avec un moteur et de 8 000 à 12 000 fr. avec deux moteurs, suivant leur puissance.

Il en résulte que le prix d'une automobile de tramway de dimensions ordinaires, complètement équipée, ne peut guère être inférieur à 10 000 ou 12 000 fr. avec un seul moteur, ni à 12 000 ou 15 000 fr. avec deux moteurs. Pour des voitures de 50 places, les prix s'élèvent à 15 000 ou 18 000 fr.

Les automobiles à bogies de 30 à 35 places assises, équipées avec deux moteurs, coûtent de 20 000 à 24 000 fr.

Quant aux automobiles de chemins de fer, elles sont de tout prix. Disons seulement, à titre de renseignement, qu'une voiture à bogies de 50 places pour service métropolitain ou de banlieue, équipée avec deux moteurs de 100 chev., coûte en Amérique 30 000 fr. environ, et avec quatre moteurs de 100 chev., 45 000 fr.

Les évaluations ci-dessus sont parfois dépassées dans la pratique, mais on rencontrera en général des prix rentrant dans les moyennes que nous avons indiquées.

---

Digitized by Google

# CHAPITRE VII

## LOCOMOTIVES ÉLECTRIQUES

**Généralités.** — Pour l'exploitation des grandes lignes où l'on emploie des trains comprenant un grand nombre de voitures et surtout des trains de marchandises, il n'y a plus d'intérêt, comme sur les lignes spéciales à trains légers très rapprochés, à employer des automobiles plus ou moins puissantes ; on doit, au contraire, chercher à réduire au minimum les unités motrices, pour diminuer les frais d'achat, d'entretien et conduite de ce matériel.

C'est cette considération d'exploitation qui justifie seule la création de locomotives électriques destinées à jouer sur les grandes lignes le même rôle que les locomotives à vapeur.

Ces locomotives électriques peuvent aujourd'hui se classer en deux catégories :

1° Celles qui empruntent l'énergie à une ligne de distribution de courant établie le long de la voie ; l'emploi en reste subordonné à l'adoption de ce genre de distribution le long de telles ou telles voies ferrées ; leur organe essentiel est un truck ou un châssis muni de moteurs ;

2° Celles qui portent elles-mêmes leur provision d'énergie sous forme d'accumulateurs électriques ou de charbon, et dont, par suite, l'emploi est possible sur toutes les lignes existantes ; ces dernières comprennent, outre le truck moteur des précédentes, soit une batterie d'accumulateurs, soit une machine à vapeur et une dynamo génératrice ; on peut les considérer comme un cas particulier des premières, obtenu en plaçant sur le châssis de celles-ci une usine productrice d'électricité, de dispositions appropriées à ces conditions d'établissement spéciales.

Digitized by Google

Pour nous, la locomotive électrique sera donc, en principe général, « un véhicule muni d'un truck assez robuste et de moteurs électriques assez puissants pour lui permettre de remorquer ou pousser un train équivalent à ceux que traînent ou poussent les locomotives à vapeur sur des lignes analogues ».

Dans ceux de ces véhicules où le truck ne porte que des moteurs, et non la source d'électricité, la caisse peut être utilisée, au moins en partie, pour le service des voyageurs ou des marchandises; ils présentent alors, aux dimensions près, le même aspect que les « voitures automobiles » et on peut leur donner le nom de « voitures locomotrices » (ces appellations correspondant aux termes « motor cars » et « locomotive cars » des Américains), en réservant le mot « locomotive » au cas spécial où la caisse se réduit à une cabine pour le mécanicien. Cette distinction est d'ailleurs peu importante, car elle se rapporte uniquement à la forme de la caisse de la voiture et non à la partie principale, qui est le truck moteur. Aussi décrirons-nous ensemble ces divers types, sans nous attacher scrupuleusement à cette classification de forme.

Les dimensions et la puissance des locomotives et voitures locomotrices électriques ainsi définies peuvent varier dans de très grandes limites sur les chemins de fer; ces limites sont actuellement d'environ 50 chev. effectifs au minimum (locomotives du City and South London Railway) et 1 000 chev. effectifs au maximum (locomotive Heilmann). On fait des locomotives plus petites pour certaines applications spéciales, telles que la traction sur les chantiers et dans les mines; le nom de « locomotive » est peut-être un peu ambitieux pour des « tracteurs » d'aussi faible importance; nous le leur conservons cependant ici à cause de la similitude d'objet, mais nous renverrons l'étude de ces machines à un paragraphe séparé, en nous bornant d'abord à l'examen de la locomotive de chemins de fer.

## § 1. — Evolution du type de la locomotive électrique

Les idées régnantes sur la construction des locomotives électriques sont encore bien souvent entachées de préjugés dont

Digitized by Google

l'origine remonte aux premiers essais de traction par l'électricité.

Habitués à voir les locomotives à vapeur composées d'organes encombrants et chargées de provisions d'eau et de combustible qui ne laissent qu'une place restreinte au chauffeur et au mécanicien, les ingénieurs qui ont projeté ou construit les premières locomotives électriques en ont fait, par analogie, des véhicules d'apparence extérieure plus ou moins massive, dont la caisse était réservée aux appareils et au personnel de conduite, souvent aux moteurs eux-mêmes.

L'histoire des locomotives électriques n'est, dans ses débuts, qu'un long martyrologe, car on n'y rencontre guère que des essais infructueux ou, tout au moins, n'ayant pas eu de suite pratique, en sorte que la plupart de ces appareils d'expérience ont fini non pas par l'usure après un service régulier, mais par une prompte mise au rebut. Plus tard, si l'on retrouve ces locomotives reléguées dans les magasins, on pourra en constituer une exposition rétrospective bien curieuse.

Dans son ensemble, le développement de la locomotive électrique a passé naturellement par les mêmes phases que celui des automobiles. Les dispositions, d'abord extrêmement compliquées au point de vue mécanique, par suite de transmissions souvent étranges, inspirées quelquefois à tort par les dispositions cinématiques imparfaites de la locomotive à vapeur, se sont simplifiées peu à peu, à mesure que l'on a mieux compris les procédés à employer pour adapter les moteurs électriques à la traction. Nous passerons rapidement en revue les diverses étapes de ces perfectionnements.

**Premières locomotives construites en Amérique.** — Nous ne reviendrons pas ici sur les premiers appareils locomoteurs de Siemens, Edison, Henry, etc., car ce sont des locomotives « historiques », qui ont déjà trouvé leur place dans le chapitre Ier. Nous citerons seulement, parmi ceux qui ont suivi, les types qui ont fait l'objet d'applications ou d'essais sérieux [1].

Les premiers qu'on doive signaler comme essais importants furent ceux du Manhattan Elevated Railroad à New York (1888 et 1889), dirigés par les ingénieurs de cette compagnie et dus à l'initiative des deux inventeurs bien connus, *Leo Daft* et *Stephen D. Field*.

[1] On trouvera de nombreux détails historiques sur tous ces premiers essais de traction dans l'intéressant ouvrage de MM. Martin et Wetzler, *Electric motors*, et dans *Electrical World* de 1888 à 1890, auquel nous empruntons ici deux figures.

Digitized by Google

La locomotive de *Daft*, dite le « Ben Franklin » [1], comportait un moteur bipolaire qui devait développer une puissance de 120 chev. à la vitesse de 40 km. : h., attaquant par engrenages simples deux essieux moteurs à roues de 1,20 m. de diamètre, accouplées par bielles ; des tampons élastiques en caoutchouc laissaient aux essieux, par rapport au truck, un faible jeu vertical, rendu possible par l'emploi d'engrenages à denture profonde.

Cette locomotive était alimentée à 500 volts par un conducteur isolé et le retour du courant se faisait par les rails.

Les résultats de l'expérience, publiés en 1890 par M. Lincoln Moss, ingénieur du Manhattan Railroad [2], furent très défavorables : pour obtenir à la

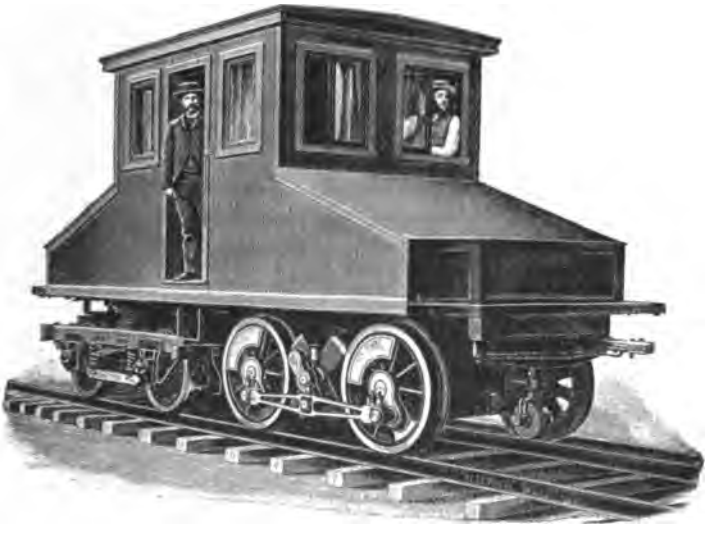


Fig. 379. — Locomotive électrique de Field.

vitesse moyenne de 15 km : h. une puissance de 26,7 chevaux à la barre d'attelage, il fallait produire 176 chev. indiqués à l'usine. Il semble probable que les engrenages étaient fort mauvais et que le moteur ne travaillait pas au régime convenable, car dès cette époque on réalisait sur les tramways des rendements de 35 à 40 p. 100 du travail indiqué à l'usine.

La locomotive de *Field*, essayée peu après et représentée par les figures 379 et 380, était caractérisée par l'absence d'engrenages et par la commande des deux essieux au moyen de bielles actionnés par un seul moteur (p. 136) bipolaire à pôles conséquents. Les inducteurs formaient un cadre complet, portant

[1] Cf. *Electrical World*, 6 juillet 1890.

[2] Voir *Railroad Gazette*, 11 juillet 1890.

Une discussion intéressante de ces résultats a été faite par M. Ernest Gérard, ingénieur des chemins de fer de l'Etat belge, dans le *Bulletin du Congrès international des chemins de fer*, janvier 1891.

Digitized by Google

par des croisillons les paliers de l'arbre de l'induit et reposant à son extrémité sur les deux essieux par l'intermédiaire de ressorts spiraux logés dans les culasses mêmes des électros. L'ensemble du moteur et de ses deux essieux, munis de roues de 0,91 m. constituait un bogie de 9 t., supportant l'avant du châssis; l'arrière reposait sur un bogie ordinaire simplement porteur. Le poids total de la locomotive était de 14 t. Elle présentait quelques particularités électriques intéressantes, notamment un système de calage automatique des balais, dont on a reconnu depuis l'inutilité, et la régulation par rhéostat liquide. Cette machine constitue le premier exemple d'une construction rationnelle.

Les essais n'eurent cependant aucune suite pour la traction sur les chemins de fer, parce que cette application était alors prématurée; mais les résultats

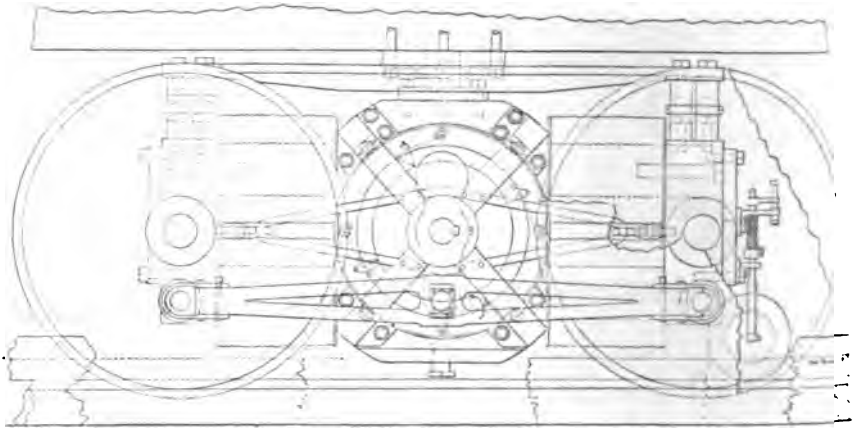


Fig. 380. — Locomotive de Field. — Détails du bogie moteur.

avaient été assez satisfaisants pour déterminer l'inventeur à appliquer son système au matériel des tramways (p. 135).

**Premières locomotives construites en Europe.** — Comme on l'a vu dans l'Historique, c'est à *Werner Siemens* qu'appartient l'honneur d'avoir construit, en 1879, la première locomotive industrielle (p. 4), et sa maison (Siemens und Halske) a fait, dès cette époque, dans diverses mines allemandes, plusieurs applications de petites locomotives de ce genre, dont nous parlerons au paragraphe 4. Son frère, *William Siemens*, présentait d'autre part à la « Society of Arts » de Londres, le 18 mai 1881, un modèle de locomotive à moteurs calés sur l'essieu, qui servit de prototype à celles employées dix ans plus tard pour l'exploitation du City and South London Electric Railway (décembre 1890).

Ces dernières ont été construites par les ateliers *Mather and Platt*, de Manchester; deux autres du même type, fournies ensuite par la maison *Siemens Brothers* de Londres, ne diffèrent des précédentes que par de petits détails peu importants.

Digitized by Google

***Locomotives du City and South London Railway*[1]. — Les treize locomotives de Mather and Platt (fig. 381 et 382), construites sous la direction du Dr *E. Hop-***

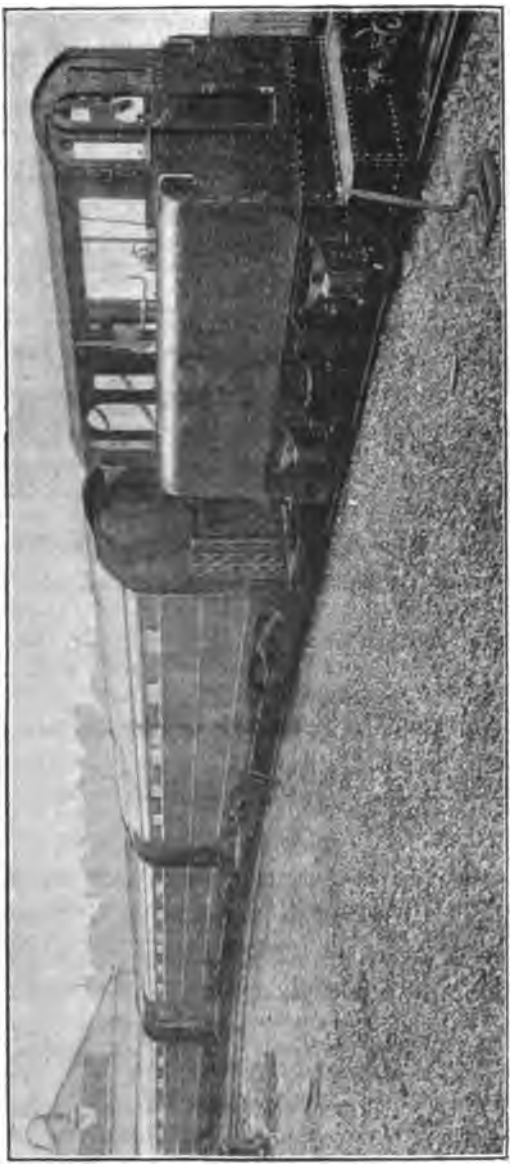


Fig. 381. — Train du City and South London Railway.

[1] Une partie de ces renseignements ont été recueillis sur place par l'un de nous ; les autres sont empruntés à des communications du Dr E. Hopkinson (*Proc. Inst. Civ. Eng.*, 14 février 1893) et de M. Alexander Siemens (*British Association*, Edinburgh, août 1892).



Digitized by Google

*kinson*, consistent en un châssis à deux essieux moteurs surmonté d'une cabine pour le mécanicien et les appareils de manœuvre. Chaque essieu porte l'induit, calé directement, d'un moteur bipolaire du type Edison-Hopkinson de 50 chev. à anneau Gramme ; les inducteurs en fer à cheval, qui embrassent l'armature avec un très faible entrefer, sont portés d'un côté par l'essieu au moyen de

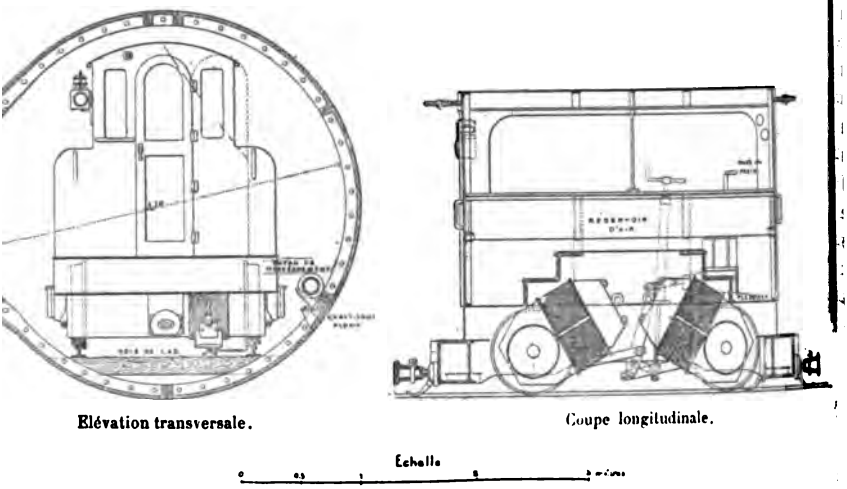



Fig. 382. — Locomotive électrique du City and South London Railway.

coussinets et de l'autre suspendus au châssis par des leviers articulés qui leur permettent un certain jeu angulaire, compensant le jeu vertical des boîtes à graisse dans les plaques de garde.

Les principales données de ces locomotives sont les suivantes :

| | |
|---|---|
| Longueur totale | 4,27 m. |
| — de la cabine | 3,05 — |
| Largeur — | 1,91 — |
| Empattement des roues | 1,83 — |
| Hauteur totale | 2,57 — |
| Diamètre des roues | 0,684 — |
| Poids d'un essieu monté, avec ses roues, boîtes à graisse, ressorts, et l'induit correspondant | 1 215 kg. |
| Poids partiel des inducteurs porté par l'essieu | 506 — |
| — total porté par les roues | 1 721 — |
| — — de la locomotive | 13,5 t. |
| — du train remorqué (sans voyageurs) environ | 21 — |
| Longueur des induits | 0,50 m. |
| Diamètre | 0,45 — |
| Résistance de l'armature | 0,30 ohm |
| — des inducteurs | 0,087 — |

Le poids total 13,5 t. est dû à l'addition de gueuses de fonte.

Digitized by Google

Les deux moteurs sont associés invariablement en série ; le courant, capté par un frotteur sur un conducteur de distribution placé sur les traverses, parcourt successivement un rhéostat de démarrage, un inverseur de marche, puis les deux moteurs, et revient aux rails par le châssis et les roues.

Les noyaux et les enroulements des inducteurs, excités en série, sont proportionnés de façon que la saturation magnétique soit presque atteinte dès la valeur moyenne du courant; au delà de ce régime, la courbe des efforts en fonction des intensités du courant est sensiblement une droite. L'effort de traction produit à la jante des roues est de 533 kg. (couple 182 kgm.) pour 100 amp. et de 1356 kg. (couple 463 kgm.) pour le courant maximum de 226 amp. En marche, le nombre d'ampères (au potentiel de 500 volts) varie de 50 à 100 et atteint 150 amp. dans les plus fortes rampes.

Les balais restent calés à la ligne neutre et les étincelles sont assez abondantes ; la régulation se fait par un rhéostat de 20 ou de 25 touches.

La vitesse commerciale est de 18,4 km. : h (11,5 miles) et la vitesse entre stations, arrêts non compris, est d'environ 21,6 km. (13,5 miles); le maximum n'atteint pas 40 km. A cette vitesse, qui correspond à 310 tours par minute, les moteurs développeraient une puissance de 50 chevaux chacun.

Les moteurs des locomotives analogues construites par *Siemens Brothers* ont des induits à tambour, portant chacun 500 barres plates de 14,4 mm² de section ; le champ magnétique atteint 6600 c. g. s.

Les essais faits dans les ateliers de ces constructeurs sur une des locomotives ont donné les résultats suivants :

| Vitesse en km : h. | Puissance au frein en chevaux. | Rendement en p. 100. |
|---|---|---|
| 19,70 | 110 | 92 |
| 23.80 | 47,1 | 91,87 |
| 25,30 | 40,2 | 89,89 |
| 28,60 | 42,62 | 94,32 |
| 36,60 | 54,3 | 91,79 |
| 39,80 | 56,6 | 92,68 |
| 49,20 | 48,76 | 92,19 |

D'après ces chiffres, qui présentent malheureusement des anomalies, on peut évaluer à 90 p. 100 environ le rendement en marche normale ; mais les fréquents démarrages abaissent énormément le rendement moyen.

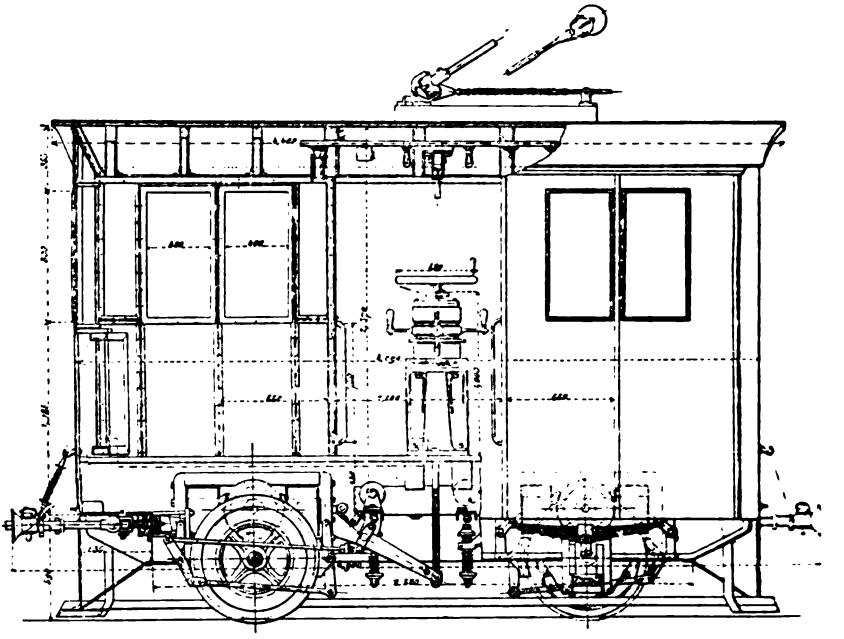
Ces locomotives sont munies de puissants freins à main et de freins Westinghouse alimentés par des réservoirs d'air comprimé qui sont remplis à l'une des gares terminus et suffisants pour 30 arrêts complets.

Elles ont une marche satisfaisante et assurent un bon service; leurs dispositions étaient remarquables à l'époque où elles ont été établies, mais les chiffres donnés ci-dessus suffisent à montrer qu'aujourd'hui on devrait préférer, dans une exploitation à aussi faible vitesse, l'emploi de voitures locomotrices à engrenages, dont les moteurs ne pèseraient pas plus de 3 à 4 t. pour la même puissance totale; on gagnerait de ce chef 10 t. sur l'ensemble du poids du train, ou 30 p. 100 environ de ce poids, sans abaisser le rendement moyen, grâce à la réduction des pertes d'énergie au démarrage.

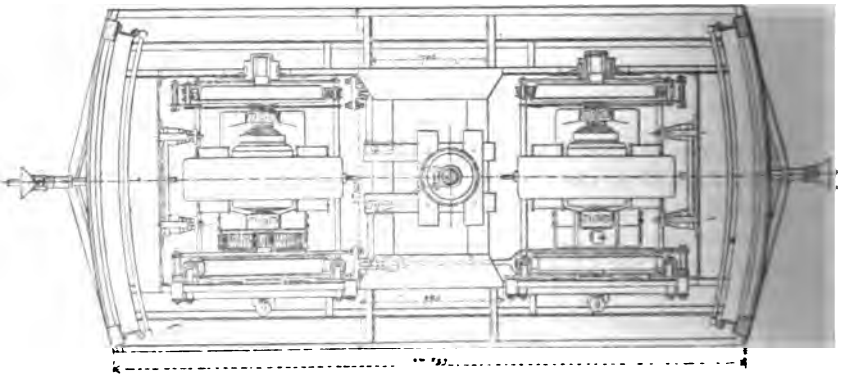
On remarquera que la partie du poids des moteurs reposant sur les essieux

Digitized by Google

n'est qu'une fraction de leur poids total et se trouve inférieure au poids porté directement par les essieux d'une locomotive ordinaire ; il eût été préférable cependant de suspendre élastiquement tout le poids des inducteurs, comme on l'a fait à Liverpool par exemple (p. 138).



Elévation et coupe longitudinales



Plan.

Fig. 383. — Locomotive de la ligne Grütsch-Mürren.

*Autres locomotives anciennes.* — Vers la même époque, on a organisé, en Suisse, l'exploitation par locomotives électriques de quelques petites lignes locales, notamment celles de Sissach-Gelterkinden et de Grütsch-Mürren, cons-

Digitized by Google

truites en 1891 par les *Ateliers d'Oerlikon*. Ces locomotives n'ont que de faibles puissances : 30 chev. sur la ligne de Sissach, 60 sur celle de Mürren, en pays plat; elles remorquent des trains d'un petit nombre (2 à 6) de voitures légères

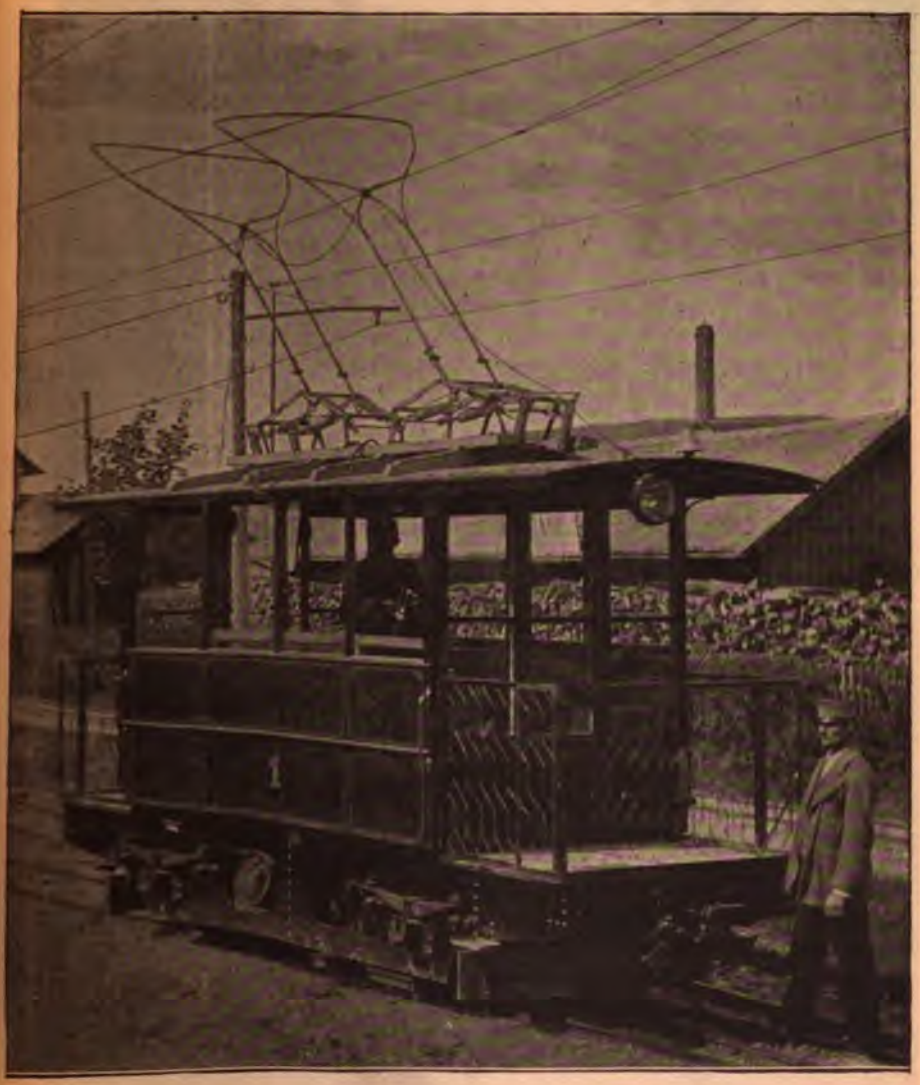


Fig. 384. — Locomotive de gare de Sérajévo.

à voyageurs ou à bagages; à Mürren, où la ligne, qui a 5 km. environ, monte à 1640 m. et présente une rampe continue de 5 p. 100, elles ne traînent qu'une seule grande voiture.

Digitized by Google

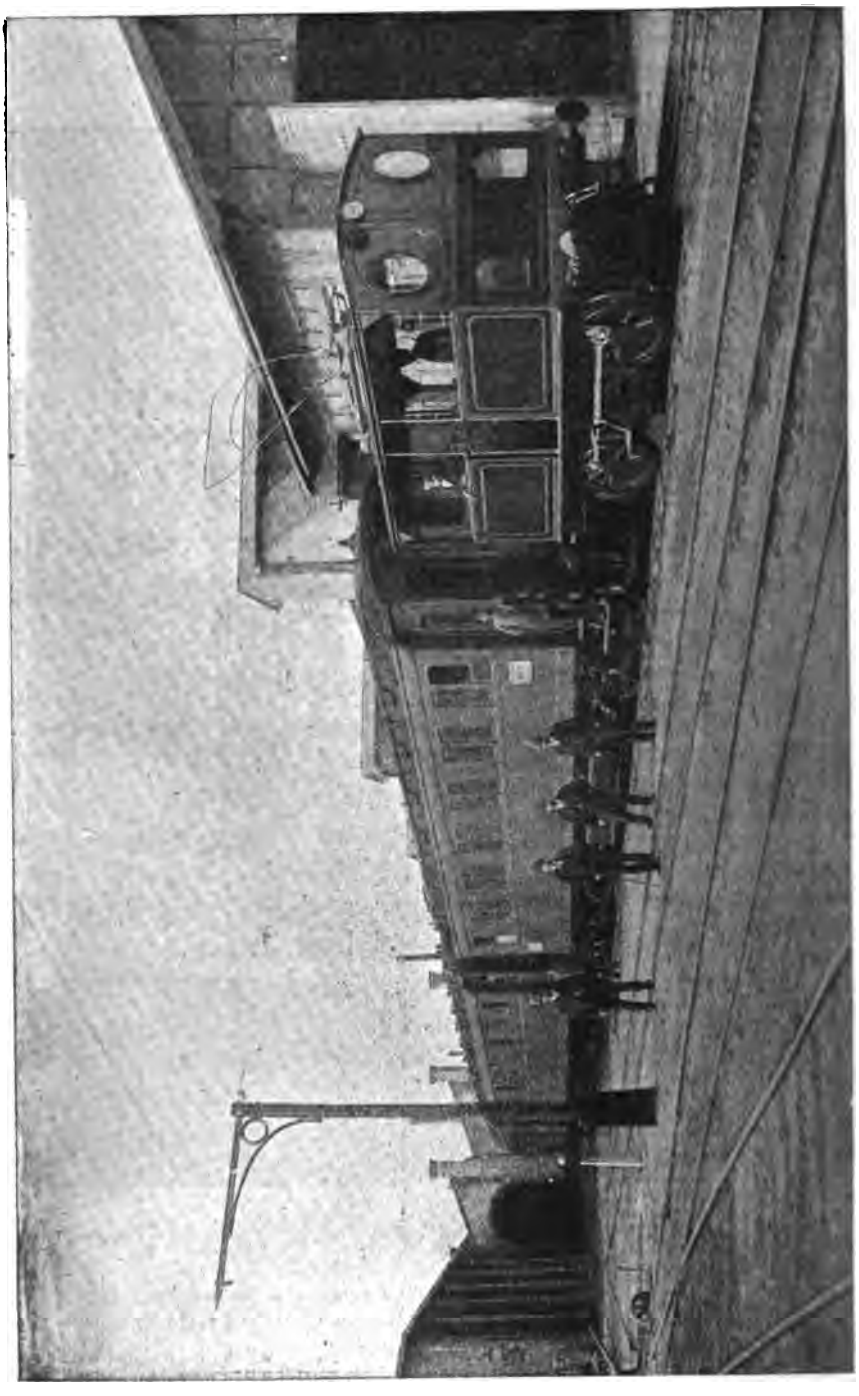


Fig. 383. — Locomotive de gare de Potsdam.

Digitized by Google

Le courant est distribué par ligne aérienne et produit par de petites usines hydro-électriques de puissance appropriée.

La figure 383 représente la locomotive de Grütsch-Mürren, qui ne diffère de celle de Sissach-Gelterkinden que par la puissance des moteurs ; elle est formée d'un châssis à deux essieux surmonté d'une cabine en tôle pour le mécanicien et les appareils de manœuvre et de freinage ; chaque essieu est attaqué à l'aide d'engrenages à simple réduction par un moteur de 30 chev. à 4 pôles, dont l'arbre est placé au-dessus de l'essieu, comme nous l'avons précédemment expliqué en décrivant ce mode de suspension (p. 126).

La régulation de marche se fait par rhéostat ; sur la ligne de Mürren, on pratique le freinage électrique à la descente.

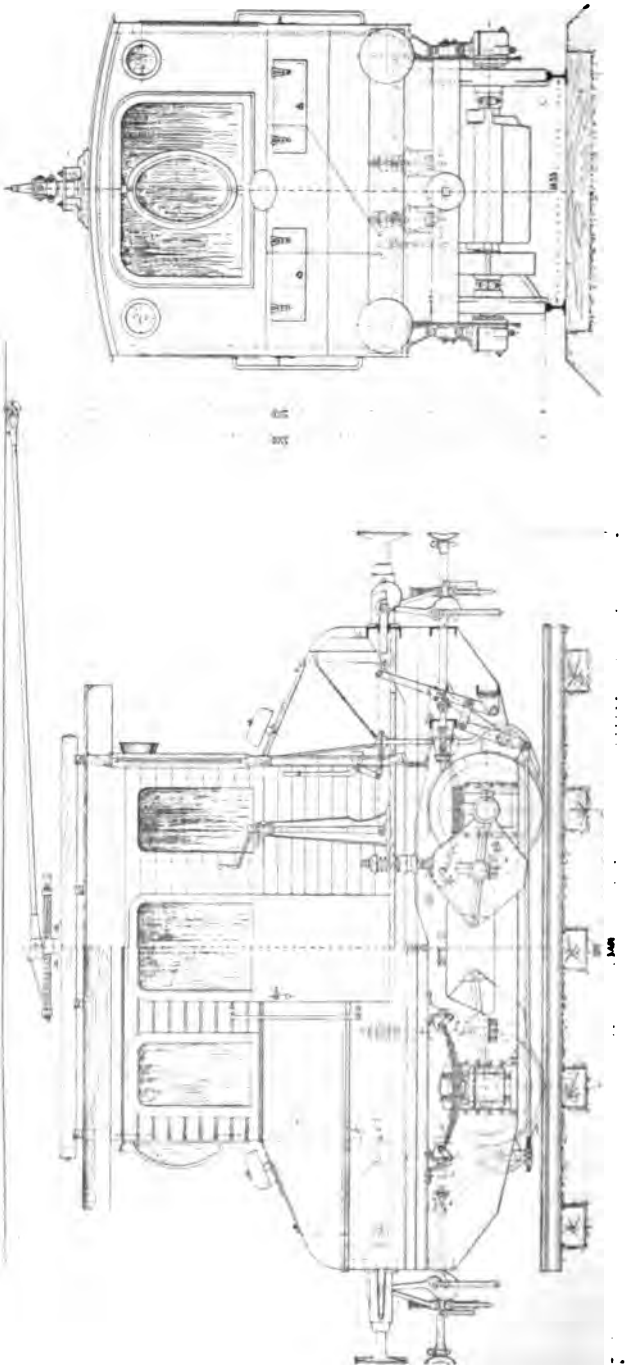
Fig. 386. — Locomotive de la ligne Budapest-Neupest Rákospalota.

Les locomotives de Mürren pèsent 7 200 kg. et développent un effort maximum de 2 000 kg. Ces machines fonctionnent fort bien, mais il est certain qu'aujourd'hui on devrait employer de préférence pour assurer ces services, qui ne diffèrent pas d'un service de tramway, des voitures automobiles et des voitures d'attelage, comme l'a fait d'ailleurs, à la même époque, la Compagnie de l'Industrie électrique sur les lignes similaires de Chavornay-Orbe, de Standstadt-Stans, etc.

*Locomotives récentes.* — Plus récemment, la maison *Siemens und Halske* a construit quelques locomotives pour manœuvres de gare, notamment pour Sérajévo et Potsdam (1895).

La locomotive de Sérajévo (fig. 384), du poids de 7,5 t., à roues de 0,70 m.,

Digitized by Google



Elévation transversale.

Elévation et coupe longitudinales.

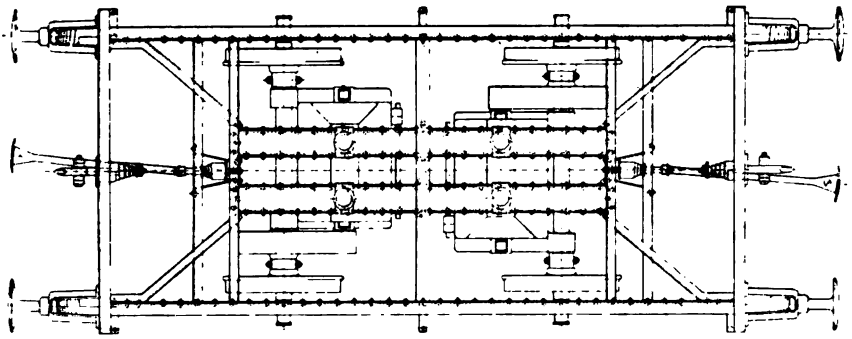
Fig. 387. — Locomotive de la ligne Budapest-Neujest (Ganz et Cie. — Détails.

Digitized by Google

a ses deux essieux commandés chacun au moyen de chaînes de Galle par un moteur de 20 chev., et elle développe un effort normal de 1000 kg. à la jante, à la vitesse de 5 m. par seconde; cette machine est affectée au service des marchandises, entre la gare de la ville et la gare aux marchandises, sur une distance de 3 km.; elle remorque environ 30 wagons par jour et les résultats sont des plus satisfaisants.

A Potsdam, la machine (fig. 385), qui sert simplement à conduire les voitures dans les ateliers de réparation, ne comporte qu'un moteur de 10 chev. attaquant l'un des essieux par engrenages à double réduction; les quatre roues de 1,10 m. sont accouplées par bielles; la machine exerce à la jante des roues un effort normal de 400 kg. à la vitesse de 0,55 m. par seconde et de 1400 kg. à la vitesse de 0,2 m. : s.

Enfin la maison *Ganz et C*[ie] de Budapest a établi de bons types de locomotives à faible puissance pour des chemins de fer locaux, tels que ceux de Miscolcz, Budapest-Neupest-Rákospalota, etc.



Plan du châssis.

Fig. 387. — Locomotive de la ligne Budapest-Neupest. — Détails.

Les figures 386 et 387 représentent les dimensions et le mode de construction de la locomotive de 50 chev. en service sur la ligne à voie normale de Budapest-Neupest-Rákospalota ; elle est formée d'un châssis à deux essieux moteurs surmonté d'une cabine fermée pour le mécanicien.

Une locomotive plus petite du même type, pour voie de 0,60 m. et d'une puissance de 20 chev. seulement, a été employée pour le service de l'Exposition millénaire de Budapest, en 1896.

**Premiers essais de traction sur les grandes lignes.** — A côté de ces premières applications exécutées sur une petite échelle, divers essais ont été poursuivis pour la réalisation de la traction électrique de trains normaux sur les grandes lignes de chemins de fer; ils se sont poursuivis à la fois en Europe et en Amérique; mais, dans ce dernier pays, les types essayés peuvent être consi-

Digitized by Google

dérés comme actuellement encore utilisables, et ils trouveront leur description au paragraphe 3.

Nous ne parlerons donc ici que des essais entrepris en Europe jusqu'à ces dernières années. Ils ont été exécutés par quelques compagnies de chemins de fer, notamment les Compagnies du Nord français, du P.-L.-M., de l'Etat belge, etc. En général, dans ces recherches, on a eu recours à des accumulateurs comme source d'électricité, non pour en faire un procédé définitif, mais uniquement pour éviter l'établissement coûteux d'un conducteur expérimental de prise de courant le long de la voie parcourue.

Ces divers essais n'ayant guère eu pour objet et pour résultat que de permettre à ceux qui les ont entrepris d'étudier les propriétés et le mode d'emploi des moteurs électriques, nous n'en dirons que quelques mots, renvoyant pour les détails à un remarquable et très documenté mémoire de M. Auvert[1], et aux notes qui l'accompagnent[2].

*Locomotive du Nord.* — La Compagnie du Nord se préoccupait, lorsqu'elle a construit sa locomotive, de préparer l'exploitation par trains légers des voies souterraines projetées pour prolonger ses lignes dans Paris. Cette machine avait été réalisée en adaptant des moteurs électriques au châssis d'une ancienne locomotive à 3 essieux, chargé d'une batterie d'accumulateurs de 1800 amp. h. (80 éléments de 143 kg.), pesant 19 t.

Les deux essieux extrêmes, seuls moteurs, étaient actionnés par 4 dynamos Bréguet, de 30 chev. chacune, placées en porte-à-faux sur les prolongements des fusées en dehors des roues et couvertes d'enveloppes en zinc ; ces machines étaient de l'ancien type bipolaire à pôles conséquents qui a figuré dans les premières locomotives d'Europe et d'Amérique, avec induits en anneau calés directement sur l'essieu ; les inducteurs, centrés sur l'essieu par des coussinets, étaient suspendus au châssis par des ressorts portant la plus grande partie de leurs poids.

Les appareils de réglage placés sur la locomotive permettaient de modifier l'excitation des inducteurs, faite séparément par 4 accumulateurs, et le couplage des éléments de la batterie ; un inverseur et un commutateur de court-circuit, réalisant le freinage électrique, complétaient cette installation ; on réalisait la récupération de l'énergie aux descentes.

L'ensemble de cette locomotive pesait 46 t.

[1] Rapport sur la question VIII (*Traction Electrique*), présenté au Congrès international des chemins de fer, Londres 1895, par M. Auvert, ingénieur des chemins de fer de Paris-Lyon-Méditerranée.

[2] Note par l'administration des chemins de fer de l'Ouest français.
Note par l'administration des chemins de fer du Nord français.
Note par M. Ernest Gérard, ingénieur des chemins de fer de l'État belge.

Digitized by Google

On remarquera que la disposition très ingénieuse des moteurs, qui constitue la partie originale de cette locomotive, forçait malheureusement à en doubler le nombre, ne leur donnait qu'un emplacement restreint, les exposait à des avaries et empêchait d'accéder facilement aux boîtes à graisse. Nous n'insisterons pas sur ce défaut, car tout le monde reconnait aujourd'hui la nécessité de loger les moteurs dans le truck et non en dehors.

*Locomotive de l'Ouest.* — La Compagnie de l'Ouest a fait en 1894 des essais de traction électrique à grande vitesse au moyen d'une première locomotive Heilmann (dite la « Fusée ») qui ne différait des locomotives actuelles du même inventeur, décrites plus loin, que par la puissance plus faible et la disposition différente des appareils à vapeur et électriques [1]. Cette machine, construite par les Forges et Chantiers de la Méditerranée pour la partie mécanique et par Brown, Boveri et C^ie^ pour la partie électrique, donna lieu à des essais plus complets qu'aucune des précédentes et fit un service régulier de plus de 2000 km.

Les résultats parurent assez satisfaisants aux intéressés pour que la compagnie « la Traction Electrique », qui exploite les brevets Heilmann,

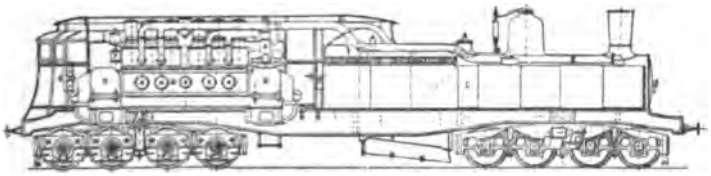


Fig. 388. — Locomotive Heilmann. — Schéma d'ensemble.

construisit, en vue de nouveaux essais sur le même réseau, deux nouvelles machines plus puissantes, pour lesquelles on a tenu compte des enseignements fort intéressants de cette première expérience. La figure 388 donne une idée d'ensemble de ces machines, que nous décrivons plus loin avec détails; nous ne les signalons ici que pour mémoire.

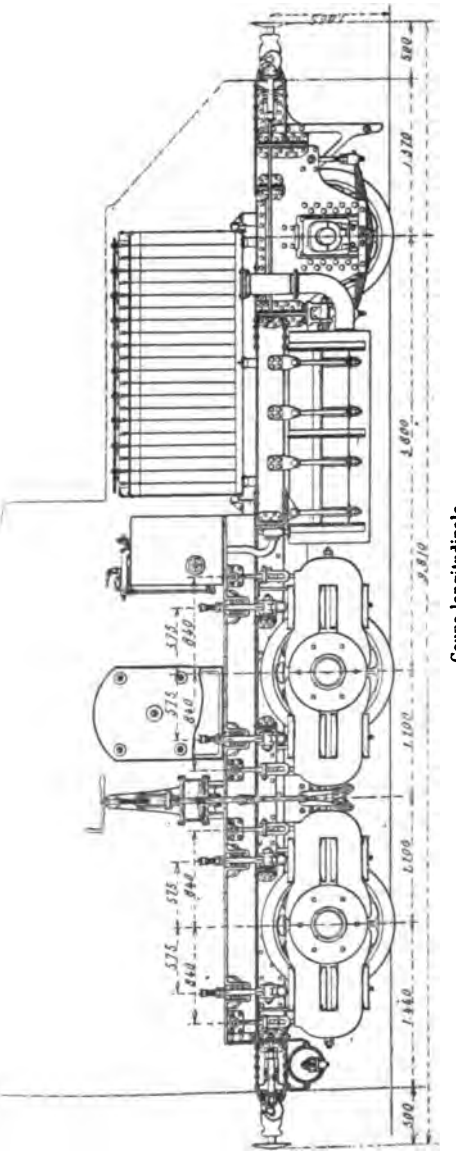
*Locomotive de l'État belge.* — L'administration des chemins de fer de l'Etat belge a fait, en 1894, des essais analogues à ceux de la Compagnie du Nord, en vue d'étudier la propulsion de voitures automobiles ou de trains légers à des vitesses de 20 à 60 km. : h. Sa locomotive d'expérience était formée d'un truck à 3 essieux et d'une caisse, contenant provisoirement des accumulateurs, mais qui devait, dans la suite, être utilisée en partie à recevoir une charge

[1] La machine, du type Brown, était horizontale, à deux cylindres placés transversalement à la voie, avec manivelles calées à 180° et parties mobiles rigoureusement équilibrées. Elle développait seulement 450 chev. Les nouvelles machines sont du type Willans à 6 cylindres verticaux et développent 1400 chev. indiqués. Il n'y avait qu'une dynamo génératrice au lieu de deux actuellement.

La chaudière était du type Lentz; la chaudière actuelle est du type locomotive ordinaire. Enfin les moteurs électriques à arbre creux reposaient sur l'essieu par des paliers avec un matelas de woodite qui a donné de mauvais résultats et a dû être supprimé; dans les nouvelles locomotives, on a adopté le dispositif Raffard (voir p. 9), en laissant une complète indépendance à l'essieu.

Digitized by Google

entral était simplement porteur ; les essieux extrêmes étaient l'un moteur tétrapolaire à commande directe et à arbre creux,



Coupe longitudinale.

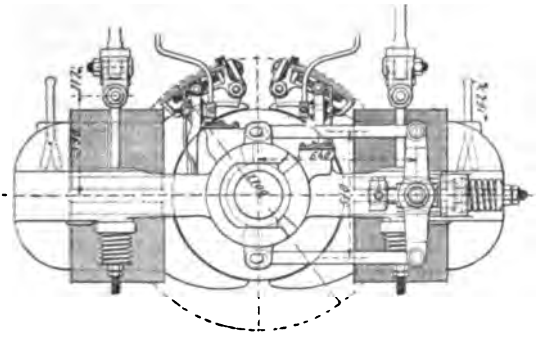
Fig. 389. — Locomotive d'essai du P.-L.-M.

ıx des locomotives Thomson-Houston de 30 t. exposées à et décrites au paragraphe 3 de ce chapitre.

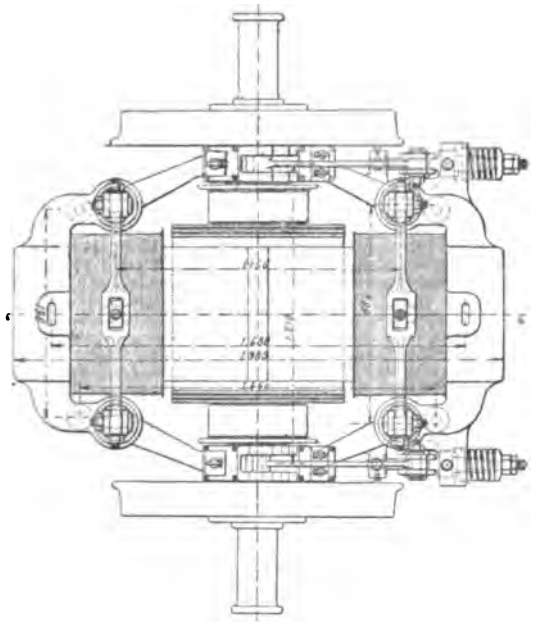
tait suspendu à deux feuilles de ressorts montées au-dessus suspension.

Digitized by Google

L'excitation était faite en dérivation ; la force électromotrice de la batterie était maintenue à 500 volts, de façon que les conditions de fonctionnement fussent les mêmes que dans le cas de l'alimentation directe par ligne aérienne.



Elévation.



Plan.

Fig. 390. — Locomotive d'essai du P.-L.-M. — Détails d'un moteur.

La régulation se faisait par le couplage « série et parallèle » des induits et par un rhéostat d'excitation en fil de nickeline.

La puissance atteignait 100 chev. aux vitesses supérieures à 40 km. : h. et le poids de la voiture était de 14,5 t., sans compter les 10 t. d'accumulateurs employés pour les essais.

Digitized by Google

Bien que peu puissante, cette locomotive, établie par M. Ernest Gérard, était bien étudiée et présentait des dispositions rationnelles.

*Locomotive du P.-L.-M.* — La Compagnie P.-L.-M. s'est depuis longtemps préoccupée de la traction électrique, et, dès 1892, *M. Bonneau*, ingénieur des Ponts et Chaussées, sous-chef de l'exploitation, avait établi, avec le concours de M. Desroziers, un projet de locomotive électrique à grande vitesse[1] dont il proposait l'emploi sur les lignes métropolitaines et dans les longs souterrains. Cette machine devait comporter deux paires de roues motrices de 2,30 m. de diamètre, commandées directement par des dynamos Desroziers à induit calé sur l'essieu ; ce type de dynamo avait paru séduisant à cause de la légèreté de l'induit, en forme de disque ; mais, pour ceux qui le connaissent, il est douteux qu'il eût pu fournir une longue carrière sur une ligne de chemins de fer, si la machine avait été exécutée.

Une locomotive d'essai, plus robuste, a été construite par la même compagnie sur les plans de *M. Auvert*, ingénieur de la traction, avec le concours de la maison *Sautter, Harlé et Cie* pour la partie électrique. La figure 389 en représente la coupe et la figure 390 donne les détails d'un moteur. Comme on le voit, sur les trois essieux de la locomotive, il n'y en a que deux qui soient moteurs ; chacun est actionné par un moteur de 125 chev. à commande directe, encore du lourd type bipolaire à pôles conséquents. La suspension des inducteurs est originale et diffère de celle adoptée généralement dans les cas analogues : les deux électros à noyaux d'acier doux en fer à cheval sont articulés autour des fusées au moyen de demi-cadres indépendants, partant des culasses et aboutissant à l'essieu, l'un par deux coussinets, l'autre par deux demi-colliers appliqués contre ce coussinet par un système de bielles, de balanciers et de ressorts à boudin. Chaque électro-aimant repose par des ressorts sur les extrémités de deux bielles fixées à un balancier, suspendu lui-même au châssis par une tige à ressort.

Ce système permet une déformation du système inducteur, tout en le maintenant bien centré sur l'essieu et en déchargeant celui-ci de tout le poids des inducteurs ; on eût pu arriver au même résultat plus simplement par le procédé employé à Liverpool (p. 138), mais le dispositif du P.-L.-M. a l'avantage de réduire au minimum la masse des parties solidaires de l'essieu.

L'induit, monté sur un croisillon calé sur l'essieu, est du type Brown, à 48 barres de cuivre aplaties, logées dans les perforations ovales d'un noyau en tôles empilées ; il a 0,65 m. de diamètre et 0,54 m. de longueur, et est muni de deux collecteurs en acier à 74 éléments, un de chaque côté, auxquels les barres sont connectées par des développantes en cuivre.

L'entrefer a été porté à 19 mm. pour réduire la réaction d'induit, déjà diminuée du reste par la coupure des inducteurs (p. 163) ; l'intensité du champ à pleine charge y est de 6 500 unités C. G. S.

A la vitesse de 500 tours, chaque moteur développe à la jante une puissance de 11 100 kgm. : s. avec un rendement de 92 p. 100.

Le courant nécessaire à la marche de la locomotive était fourni pour les

[1] *Etude sur la traction électrique des chemins de fer.* Paris, 1892.

Digitized by Google

essais par une batterie de 28 tonnes placée sur un fourgon jouant le rôle de tender; celle-ci était divisée en deux groupes pouvant être couplés en série ou en parallèle, de même que les moteurs; la régulation de vitesse était produite au moyen de ces couplages variables et complétée par l'emploi d'un rhéostat de démarrage à liquide.

Cette locomotive présente, comme on le voit, des dispositions ingénieuses, et l'exécution remarquable de la partie électrique fait honneur aux constructeurs.

On doit regretter seulement que l'emploi des moteurs bipolaires, au lieu de moteurs multipolaires, ait conduit à des dispositions assez compliquées et à un poids relativement élevé. Chaque moteur ne pèse, en effet, pas moins de 7 800 kg. (plus de 60 kg. par cheval, au lieu de 15-20 kg. indiqués plus haut pour les moteurs américains) et la locomotive entière pèse 36 t., soit 144 kg. par cheval, au lieu du chiffre de 50 qu'on trouvera plus loin pour les locomotives américaines[1].

D'après ce qu'on vient de voir, les chemins de fer européens n'en sont encore, en fait de traction électrique par alimentation directe, qu'à la période des tâtonnements, et leurs types sont fort en retard sur l'expérience américaine.

Cette stérilité de recherches cependant très sérieuses et très méritoires provient, croyons-nous, pour la plus grande part, de ce qu'on n'a pas encore trouvé ou cru trouver sur les réseaux européens l'occasion d'appliquer dans des conditions financières satisfaisantes le nouveau mode de traction; les expériences ont conservé, par suite, un caractère théorique et accessoire peu favorable au progrès pratique. Pendant ce temps, les grandes compagnies de construction américaines, profitant de l'expérience acquise sur les tramways, ont établi des types de locomotives électriques rationnels, qui paraissent approcher de la solution définitive du problème et dont nous nous inspirerons dans ce qui suit.

## § 2. — Dispositions des locomotives modernes

**Généralités.** — On doit, dans la construction d'une locomotive électrique, faire abstraction complète des dispositifs de la locomo-

[1] Nous ne comptons pas naturellement la batterie d'accumulateurs de 3 700 kg. avec ses accessoires, destinée à l'excitation des inducteurs.

Digitized by Google

tive à vapeur : à un problème nouveau, il faut une solution nouvelle et dégagée de tout préjugé.

S'il y a des exemples de construction à chercher, c'est aux automobiles électriques qu'il faut les demander, en tenant compte de la différence des puissances en jeu, et non aux locomotives à vapeur.

Les moteurs électriques se différencient en effet des moteurs à vapeur sur trois points importants, que nous développerons avec plus de détails au paragraphe 4 ci-dessous : d'une part, ils sont beaucoup plus légers et moins encombrants pour la même puissance, à condition, bien entendu, qu'ils soient considérés seuls, indépendamment des machines productrices du courant électrique ; d'autre part, ils donnent directement un mouvement de rotation au lieu d'un mouvement rectiligne alternatif ; enfin ils permettent de subdiviser la puissance motrice entre autant d'appareils moteurs qu'on le désire sans augmentation bien sensible du poids total.

Il en résulte que les moteurs électriques peuvent être placés au voisinage immédiat des essieux et rester contenus aisément dans le truck, à la seule condition qu'on adopte un nombre convenable d'essieux moteurs. On peut donc considérer comme une erreur de construction toute locomotive dont les moteurs seraient disposés au-dessus du châssis, sauf dans quelques cas particuliers, tels que celui des locomotives destinées à la traction sur des voies exceptionnellement étroites (mines, chantiers, lignes de montagne à crémaillère etc.).

Une locomotive rationnelle pour le service ordinaire des chemins de fer peut être réduite à un *châssis* reposant sur un nombre d'essieux moteurs suffisant pour réaliser le poids adhérent nécessaire ; ce châssis, dont nous étudierons plus loin la construction, doit être assez robuste pour assurer la même résistance que ceux des locomotives actuelles aux efforts sur les longerons et les plaques de garde.

De même que dans les automobiles, les essieux peuvent être reliés au châssis d'une manière rigide ou jouir d'une certaine convergence et d'un déplacement latéral ; ils peuvent être isolés ou groupés par deux, trois et même quatre, de manière à constituer des trucks articulés ou bogies.

Au-dessus de ce châssis, il n'y a plus ni chaudière, ni approvi-

Digitized by Google

sionnements encombrants à porter, comme dans une locomotive à vapeur; il faut seulement réserver un logement pour le mécanicien et les appareils de commande; mais, comme la place nécessaire est très restreinte, il suffit d'une simple cabine.

Dans les premières locomotives modernes, on s'est borné à cette disposition. Mais il est beaucoup plus rationnel d'utiliser la place restante pour y loger, dans une véritable caisse, soit des marchandises, soit des voyageurs, comme on le fait dans les types récents, en constituant ce que nous avons appelé une *voiture locomotrice*.

L'emploi d'une locomotrice-fourgon est tout indiqué pour les express des grandes lignes, où des fourgons à bagages sont nécessaires; elle a l'avantage d'éviter aux voyageurs la proximité des moteurs et du mécanicien[1], et de mieux spécialiser la locomotive.

L'emploi d'une voiture locomotrice à voyageurs est au contraire seul possible sur les trains métropolitains ou les trains de banlieue où l'on n'admet pas de bagages enregistrés.

Cette utilisation de la machine comme véhicule porteur est d'autant plus avantageuse qu'elle augmente l'adhérence sans accroître le poids mort. Il est à remarquer en effet que les locomotives électriques, étant très légères relativement à l'effort de traction qu'elles peuvent être appelées à développer sur de fortes rampes ou aux démarrages, risqueraient, sur certaines lignes, de ne pas tirer complètement parti de leur puissance si l'on n'en lestait pas le truck moteur; pour obtenir ce résultat, on a été obligé, dans certains cas, particulièrement pour les locomotives à simple cabine, de placer sur le châssis un plaletage en tôle renforcé ou même une charge de saumons de fonte. Nous en avons donné un peu plus haut un exemple à propos des locomotrices du Metropolitan West Side R. R. de Chicago; on en verra d'autres plus loin.

Il est assez difficile, d'après ce qui précède, de maintenir une distinction bien nette entre les *automobiles* de grandes lignes et les *voitures locomotrices*, car tous les intermédiaires sont possibles,

[1] Il est probable, du reste, que peu de voyageurs aimeraient à monter dans le wagon de tête d'un train, de peur de tamponnement; ce wagon resterait donc inoccupé. Quant au mécanicien lui-même, il aurait aussi un sentiment plus grand de sécurité si on le mettait dans une cabine au milieu du châssis plutôt qu'à l'avant d'un fourgon.



Digitized by Google

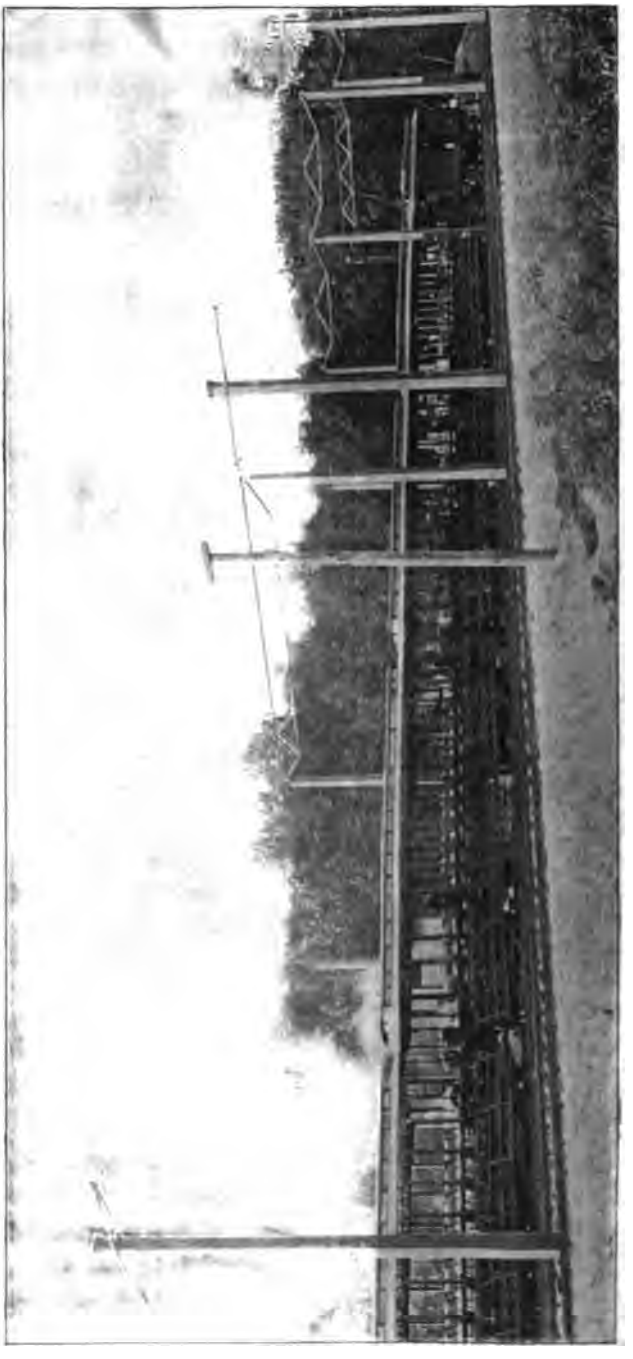


Fig. 391. — Train remorqué par un fourgon locomoteur sur la ligne de Nantaskot Beach

Digitized by Google

suivant les conditions d'exploitation réalisées. On peut cependant définir, comme nous l'avons fait plus haut, *voiture locomotrice*, toute voiture qui remorque un train équivalent à ceux que remorqueraient sur les mêmes lignes des locomotives à vapeur; à ce point de vue, on peut classer parmi les locomotives les grandes voitures à voyageurs du pont de Brooklyn et celles des métropolitains de Chicago, les fourgons et voitures motrices de la ligne de Nantasket Beach, les voitures électriques en service sur l'em-

Fig. 392. — Voiture locomotrice du Norfolk and Ocean Wiew R.R.

branchement de Burlington à Mount Holly, celles du Norfolk and Ocean View R. R., celles du Columbia and Maryland R. R., etc.

De bons exemples de ce genre de voiture sont offerts par les figures 391 et 392, qui représentent, la première un train express de la ligne de Nantasket Beach, traîné par un fourgon à 4 moteurs de 125 chev., et la seconde une locomotrice de 32 t. à 4 moteurs de 50 chev. remorquant un train de charbon de 135 t. sur le Norfolk and Ocean Wiew R. R.

Ces voitures locomotrices et les locomotives ne diffèrent des automobiles précédemment décrites que par les dimensions, la puissance motrice et la construction plus robuste des trucks; nous

Digitized by Google

ninerons leurs dispositions successivement au point de vue du x des moteurs et de la transmission du mouvement, puis à celui ı construction des trucks, et nous compléterons cet exposé par exemples des principaux types en service ou susceptibles d'être loyés à l'heure actuelle.

laptation des moteurs électriques aux locomotives. — Les ations générales données aux chapitres IV et V trouvent ici application presque sans changement. Nous avons cependant e quelques remarques spéciales au cas actuel.

ı a vu que les moteurs à commande directe ne peuvent tra- er avantageusement sur les automobiles qu'à des vitesses supé- e à 70 km., parce qu'au-dessous de cette valeur ils présentent oids exagéré, et nous en avons critiqué, à ce point de vue, loi sur les métropolitains malgré la grande simplicité qui en te pour le matériel. La même considération s'applique aux notives de grandes lignes tant qu'elles peuvent réaliser sans ıne adhérence suffisante ; ce n'est que dans le cas de locomo- destinées à remorquer des trains de marchandises lourds, ou e fortes rampes, qu'un poids élevé de moteurs peut être sans ıvénient au point de vue du rendement de la traction, parce conduit simplement à réduire le lest sans que le poids mort it modifié. Cette condition s'est présentée, par exemple, pour comotives électriques qui remorquent les trains de marchan- du Baltimore and Ohio R. R. dans la traversée souterraine ville de Baltimore, et elle a pu justifier, dans une certaine ıre, l'adoption sur celles-ci des moteurs « gearless » malgré la vitesse des trains remorqués.

ıis il ne faut pas oublier, même dans ce cas, qu'un moteur coûte plus qu'un moteur léger, et que la différence des prix ors de comparaison avec le coût d'un lest en saumons de . D'après feu D. L. Barnes, ingénieur des ateliers Baldwin, locomotive « gearless » coûterait, à puissance égale, trois fois qu'une locomotive à engrenages, et la suppression des frais retien des engrenages ne suffirait certainement pas à compenser l'exploitation cette différence de prix d'achat. Nous ne croyons outefois que cette assertion soit exacte dans le cas où une

Digitized by Google

forte adhérence est nécessaire, car, à poids égal supporté, les trucks coûtent le même prix et la différence entre les prix des moteurs seuls ne peut conduire à des écarts aussi élevés entre les prix totaux.

Nous admettrons donc que les moteurs « gearless » peuvent être appliqués rationnellement aux locomotives électriques dans deux cas fort différents : 1° pour les trains à grande vitesse; ils sont même *seuls* rationnels au delà de 70 km.-h.; 2° pour les trains de marchandises exigeant une forte adhérence; dans ce cas ils peuvent être acceptables suivant les circonstances; mais, comme nous le dirons plus loin, la traction électrique ne paraît pas destinée à cette application en dehors de cas exceptionnels comme celui du tunnel de Baltimore.

Partout ailleurs, l'emploi des engrenages est la solution rationnelle; du reste, même dans les cas précédents, elle est quelquefois préférée par de grandes maisons de construction, telles que les ateliers Baldwin, pour des motifs d'ordre pratique déjà donnés plus haut (p. 139).

Le diamètre des roues n'est pas limité pour les locomotives et les locomotrices par les considérations d'accessibilité qui imposent des limites pour les automobiles (p. 104); rien n'empêche donc, pour réaliser des locomotives très puissantes, d'employer de grandes roues comparables à celles des locomotives à vapeur, qui dépassent souvent 2 m. pour les express, et d'adapter à chaque essieu des moteurs de dimensions correspondantes; c'est ainsi que sur les locomotives de Baltimore l'emploi de roues de 1,575 m. a permis de réaliser, avec quatre essieux moteurs commandés directement, un effort de traction normal de 18 000 kg., tandis qu'avec huit essieux moteurs et des roues de 1,15 m., la locomotive Heilmann développe seulement un couple moteur maximum de 10 000 kg.

Au point de vue de la simplicité, la première solution est préférable à la seconde; en outre, elle donne, à puissance égale, des bogies ayant un moindre empattement total que les bogies à huit roues. Ceux-ci ont, par contre, l'avantage de répartir plus uniformément la charge sur la voie[1].

[1] L'emploi de 2 trucks dans la locomotive Heilmann au lieu d'un seul dans les loco-

Digitized by Google

Mais, d'autre part, les dimensions des moteurs sont limitées indirectement par la considération du voltage de la ligne de distribution. En effet les moteurs à grande vitesse, à une seule spire par encoche, donnent une f. é. m. proportionnelle au nombre d'encoches et à la longueur de l'induit; on ne peut donc augmenter les dimensions de celui-ci au delà d'une certaine limite qu'au prix d'une augmentation proportionnelle de la tension de distribution; si elle est impossible, on devra prendre un plus grand nombre de moteurs plus petits. On peut, il est vrai, bobiner les sections d'induits en parallèle et non en série; mais on a vu plus haut (p. 178) que ce bobinage présente des inconvénients par les efforts dissymétriques auxquels il peut donner lieu.

En général, on peut considérer le nombre de quatre ou six essieux moteurs comme très suffisant pour les plus puissantes locomotives qu'on ait à construire actuellement. Pour 400 chev. et au delà, l'emploi de quatre essieux moteurs est avantageux; ces essieux n'ayant pas besoin d'être reliés d'une façon rigide au châssis comme les essieux moteurs des locomotives à vapeur, il paraît en outre recommandable de répartir les quatre trains de roues entre deux bogies, pour faciliter le passage des courbes et diminuer la fatigue de la voie. Au-dessous de 400 chev., deux essieux moteurs peuvent parfaitement suffire; mais il vaut mieux, encore dans ce cas, pour la douceur du roulement, conserver le type à bogies jusqu'à 200 chev. environ; au-dessous de ce chiffre, un simple châssis à deux essieux suffit.

En aucune circonstance l'emploi d'essieux simplement porteurs n'est justifié, car il réduirait inutilement l'adhérence, déjà faible pour les locomotives à alimentation extérieure.

Au point de vue du mode de suspension, les principes exposés au chapitre IV restent applicables et l'on ne saurait trop recommander, croyons-nous, de réduire au minimum le poids porté par les essieux sans interposition de ressorts et aussi, comme nous l'avons déjà expliqué (p. 130 et 134), la masse solidaire de l'essieu; celle-ci joue en effet le rôle d'un véritable marteau oscillant sous l'action

motives à vapeur était d'ailleurs justifié, dans le cas considéré, par la nécessité de loger au-dessus du châssis une chaudière de grande section sans dépasser le gabarit de la voie.

Digitized by Google

de ces ressorts. A ce point de vue, les meilleurs dispositifs sont ceux du moteur Walker pour les appareils à engrenages et du tube creux pour les moteurs sans réduction.

Quelques auteurs[1], faute d'avoir reconnu la possibilité de réduire cette masse, ont voulu faire abandonner la suspension élastique au profit d'essieux fixés rigidement aux trucks. Dans ce cas, évidemment, il n'y a pas de martelage produit individuellement par chaque essieu, les roues quittant la voie lorsqu'elles se trouvent au droit d'une dépression ; mais le martelage par l'ensemble de la locomotive peut prendre des valeurs très élevées et occasionner à la voie une fatigue considérable ; on doit donc, croyons-nous, préférer les dispositifs que nous venons d'exposer[2].

**Construction du châssis.** — Dans le cas d'essieux rigides, le châssis des locomotives électriques est constitué absolument comme celui des locomotives à vapeur. Il comporte de même des longerons très robustes, servant à maintenir le parallélisme des essieux et à transmettre au crochet d'attelage la traction longitudinale due à l'effort moteur, qui s'exerce sur eux par l'intermédiaire des glissières des plaques de garde. Ces longerons, qui se font généralement en tôle d'acier, sauf aux États-Unis où l'on emploie de préférence des barres de section rectangulaire, doivent être entretoisés aussi solidement que possible, la rigidité du châssis étant indispensable à sa durée et à la bonne conservation des organes moteurs.

La suspension sur les boîtes à huile est réalisée, comme à l'ordinaire, au moyen de ressorts à lames maintenus en leur milieu par une bride, qui s'appuie sur le dessus de la boîte ou est suspendue par-dessous ; ces ressorts reçoivent la charge par l'inter-

[1] Cf. Henry, *Street Railway Journal*, janvier 1897 ; Emery, *Amer. Inst. El. Eng.*, octobre 1896.

[2] D'autres auteurs, en particulier M. Emery (*loc. cit.*), estiment qu'il faut renoncer à monter les moteurs sur les essieux et les placer en dehors de ceux-ci, à l'arrière ou à l'avant du châssis, en les réunissant aux roues par des bielles motrices comme dans le système Eickemeyer-Field (p. 135) ; ils conseillent même de reproduire complètement les dispositions générales de la locomotive à vapeur, en remplaçant simplement les cylindres par des moteurs électriques de puissance équivalente et en conservant un bogie moteur à l'avant. Pour nous, une pareille disposition, qui ferait perdre à la locomotive électrique sa simplicité et sa souplesse, serait un véritable contresens, d'après tout qui précède ; nous ne la signalons donc que pour mémoire.

Digitized by Google

médiaire de menottes ou de tiges de suspension articulées sur les longerons ; ces dernières sont souvent munies d'écrous de réglage permettant de charger plus ou moins chaque ressort et de répartir convenablement le poids. Les figures 383, 387, 389 montrent des exemples de ce mode de suspension.

Pour soustraire la répartition du poids sur les essieux aux perturbations résultant des inégalités de la voie ou du défaut de réglage des ressorts, on se sert avantageusement des *balanciers* de répartition, qui sont, comme on le sait, de simples leviers, articulés au châssis vers le milieu et chargeant les extrémités des ressorts voisins. En faisant, par cette méthode, reposer le poids de la machine sur les axes des balanciers, on réduit le nombre des points d'appui, au grand avantage de la stabilité. C'est ainsi que, dans la locomotive à quatre essieux moteurs de Sprague, Duncan et Hutchinson, décrite plus loin (page 460), on a pu, en accouplant deux à deux les ressorts des deux essieux extrêmes, n'avoir que quatre points d'appui au lieu de huit.

Les locomotives à essieux rigides ne peuvent s'inscrire dans les courbes que grâce au jeu ménagé d'une part entre les essieux, les boîtes et leurs glissières, de l'autre entre les boudins des roues et les rails. Lorsque le rayon des courbes descend au-dessous d'une certaine limite, on est obligé de recourir à des dispositions spéciales qui permettent aux essieux de se déplacer transversalement et de converger en courbe. Dans ce cas, l'accouplement par bielles de tous les essieux n'est plus possible et l'on se trouve conduit à attaquer chacun d'eux par un moteur séparé ou tout au moins à les répartir en groupes d'essieux accouplés, commandés d'une façon indépendante.

Les dispositifs usités sur les locomotives à vapeur pour donner aux essieux porteurs un jeu latéral ou un mouvement de convergence, tels que les boîtes à plans inclinés, les bissels, les boîtes radiales, pourraient s'appliquer sans grande difficulté aux essieux moteurs des locomotives électriques. Mais on préfère de beaucoup, pour celles-ci, les trucks articulés, qui non seulement permettent d'augmenter l'empattement et la stabilité sans nuire à la facile inscription dans les courbes, mais encore diminuent dans une large mesure la fatigue de la voie et l'usure de la machine. Afin de pou-

Digitized by Google

voir marcher indifféremment dans les deux sens, les locomotives électriques sont montées sur deux bogies semblables, absolument comme les voitures du type américain. Ces bogies se font à 4, 6 et même 8 roues.

Les trucks articulés employés sous les locomotives électriques se rapprochent davantage, comme disposition générale, de ceux des wagons que de ceux des locomotives à vapeur. La locomotive électrique rationnelle étant appelée à porter, suivant les cas, des voyageurs ou des marchandises, la suspension de ses bogies doit être aussi douce que celle d'une voiture ordinaire ; mais, en même temps, ils doivent être construits au moins aussi solidement que des bogies de locomotives, en vue du rôle spécial de remorqueur qu'ils ont à remplir.

Les plaques de garde, les longerons et la traverse médiane du bogie notamment ont à transmettre à la crapaudine tout l'effort de traction dû aux moteurs. Le couple de torsion produit par l'attaque des deux essieux en deux points diagonalement opposés, et qui tend à déformer le châssis, atteint, avec les gros moteurs employés sur les locomotives, des valeurs considérables et nécessite un contreventement très robuste des longerons, dont les assemblages avec les entretoises doivent être consolidés au moyen de renforts d'angle, cornières, etc. Les glissières, boîtes à huile, coussinets, doivent présenter des surfaces de portage suffisantes et être disposés de manière à résister aux chocs qu'ils reçoivent sans perdre leur alignement.

La charge est ordinairement transmise au bogie par un pivot placé en son centre de figure et se répartit également entre les roues.

La figure 393 montre le type de truck articulé à 2 essieux spécialement étudié en vue de cette application par les *Ateliers Baldwin*, de Philadelphie. Les longerons sont assemblés avec les entretoises au moyen d'équerres complétées par de forts goussets ; ils reposent sur les boîtes par l'intermédiaire de ressorts à lames, à jeu limité. La crapaudine est portée par une traverse oscillante guidée par les deux entretoises et suspendue au châssis par d'autres ressorts à lames et par des menottes.

Pour permettre d'accéder facilement aux différentes parties du truck et de démonter les essieux et les boîtes sans lever le truck, la branche extérieure des plaques de garde est mobile autour d'une charnière horizontale ; elle est maintenue à sa partie inférieure par un boulon, qui l'empêche de s'ouvrir sous la pression de la boîte et qu'on retire lorsqu'on veut faire sortir l'essieu. La

Digitized by Google

traverse oscillante et les ressorts peuvent de même être retirés sans toucher au reste du truck. Les freins sont disposés de manière à ne pas gêner le démontage de la traverse et des moteurs. Ces derniers sont suspendus de telle sorte qu'on puisse les enlever sans avoir à démonter la traverse oscillante, les freins, ni les essieux.

L'exécution de ces trucks est aussi soignée que celle des locomotives à va-

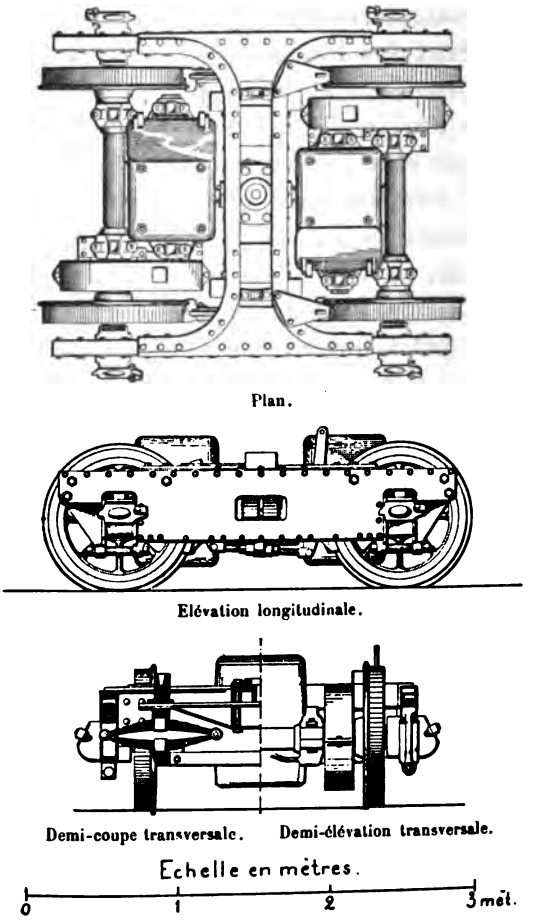


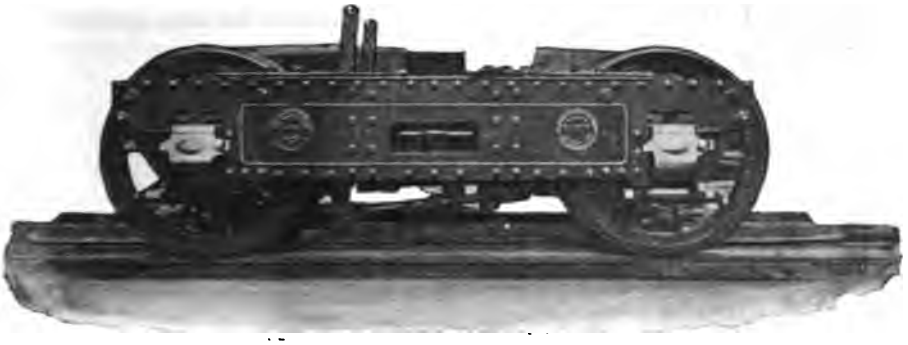

Fig. 393. — Détails d'un truck articulé Baldwin-Westinghouse, équipé avec 2 moteurs de 100 chev.

peur. On peut leur ajouter des bielles d'accouplement, la résistance des différentes pièces étant calculée en conséquence.

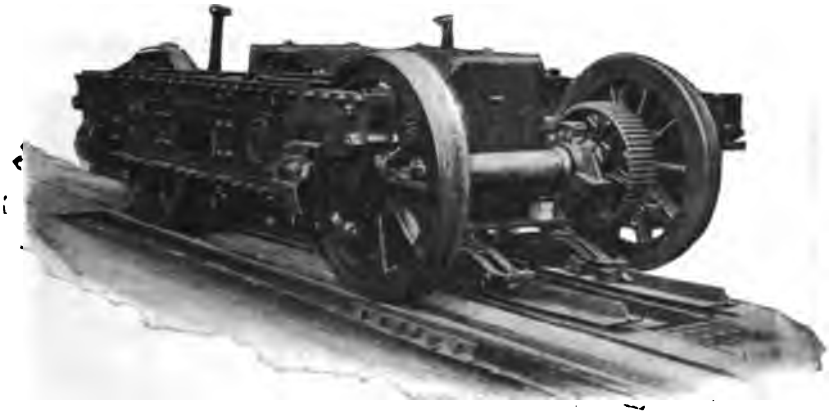
Le modèle représenté par la figure 394 est destiné à des locomotives à quatre moteurs de 100 ou 200 chev. ; les roues peuvent avoir jusqu'à 1,20 m. de diamètre, pour un empattement de 2,30 m.

Les figures 393 et 395 représentent un truck de voiture locomotrice à quatre

Digitized by Google

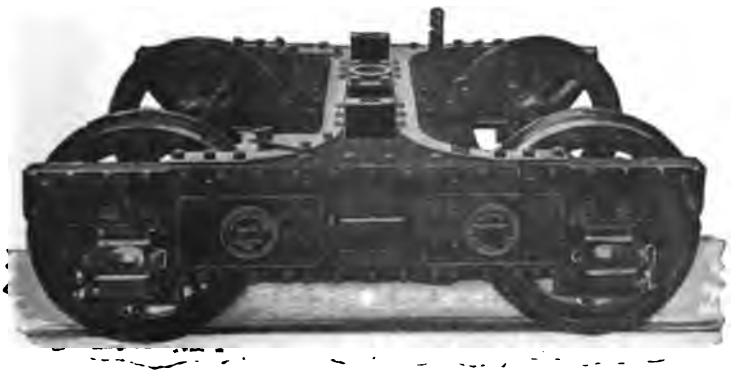


Vue de côté.



Vue par bout, la boîte d'engrenages étant enlevée.

Fig. 394. — Truck de locomotive électrique Baldwin-Westinghouse (classe 8 4/200 E).



Vue d'ensemble.

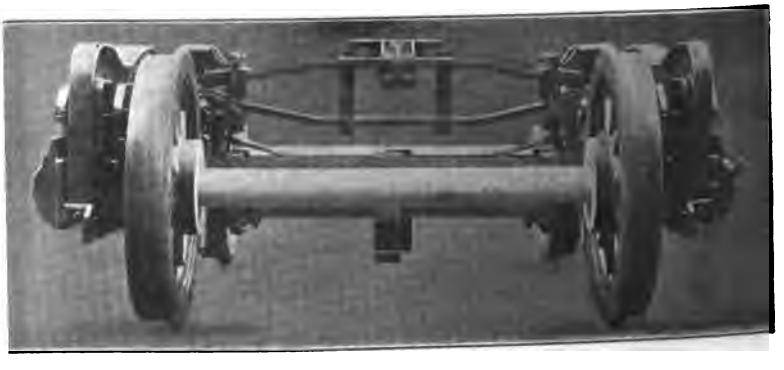
Fig. 395. — Truck de voiture locomotrice Baldwin-Westinghouse (classe 8 4/100 E).

Digitized by Google

moteurs de 50 ou 100 chev. ; on peut porter le diamètre des roues à 0,92 m., sans dépasser 1.83 m. d'empattement.

Fig. 396. — Truck des locomotrices de Nantasket Beach (Ateliers Baldwin).

Vue de côté.



Vue par bout.

Fig. 397. — Truck articulé McGuire ( « L » truck).

La figure 396 montre un autre modèle de la maison Baldwin, qui se rapproche

Digitized by Google

davantage du type américain ordinaire par la disposition de sa suspension et celle des balanciers latéraux servant à la transmission de la charge aux

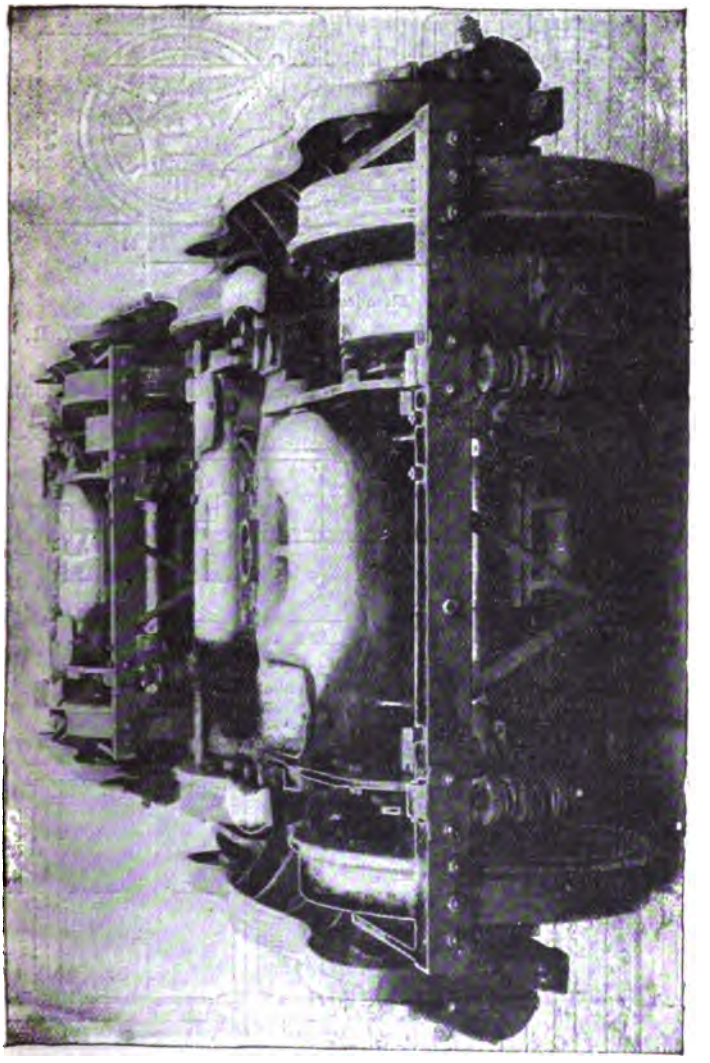


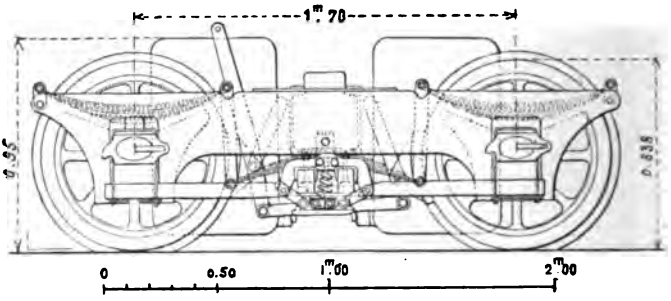
Fig. 398. — Truck des locomotrices du pont de Brooklyn, équipé avec deux moteurs de 50 chev.

boîtes. Seulement les longerons, qui n'ont d'habitude d'autre rôle que de maintenir l'écartement des essieux, servent ici à transmettre le mouvement de translation des essieux au pivot, et on les a renforcés en conséquence.

D'après les renseignements qui nous ont été fournis par les constructeurs, le premier modèle représenté (fig. 394) pèse, sans roues ni moteurs, mais avec ses essieux, 4 800 kg. environ; son prix approximatif, en Amérique, est de

Digitized by Google

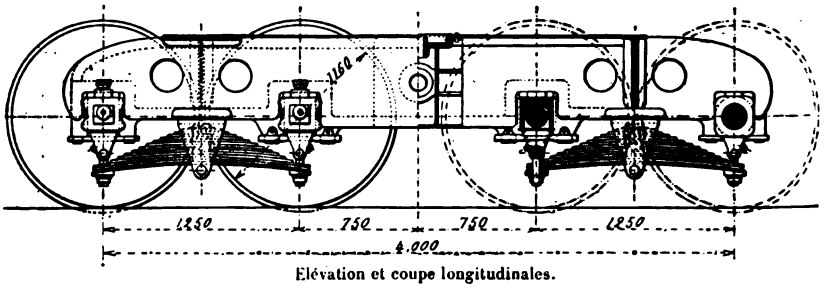
3 250 fr. Le second (fig. 395) pèse 3 200 kg. et coûte 2 650 fr., dans les mêmes conditions. Enfin le troisième (fig. 396) pèse 3 000 kg. et coûte 2 100 fr.



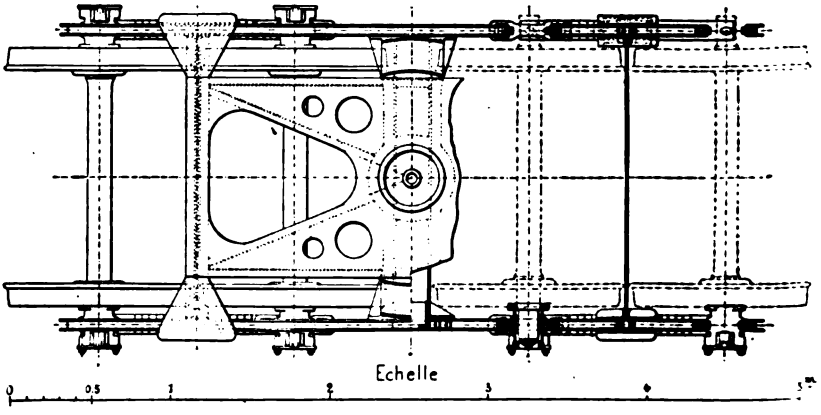

Elévation.

Fig. 399. — Bogie des locomotrices du Metropolitan West Side R. R.

Nous citerons encore, comme exemple de truck articulé pour locomotives




Elévation et coupe longitudinales.




Plan et coupe horizontale.

Fig. 400. — Locomotive Heilmann. — Bogie de la « Fusée ».

électriques, le truck *McGuire* (fig. 397), qui est employé sous les voitures locomotrices du pont de Brooklyn, du Lake Street Elevated Railway de Chicago.

Digitized by Google

du Norfolk and Ocean View R. R., etc. Il présente les mêmes caractères généraux que le truck articulé du même fabricant que nous avons déjà décrit

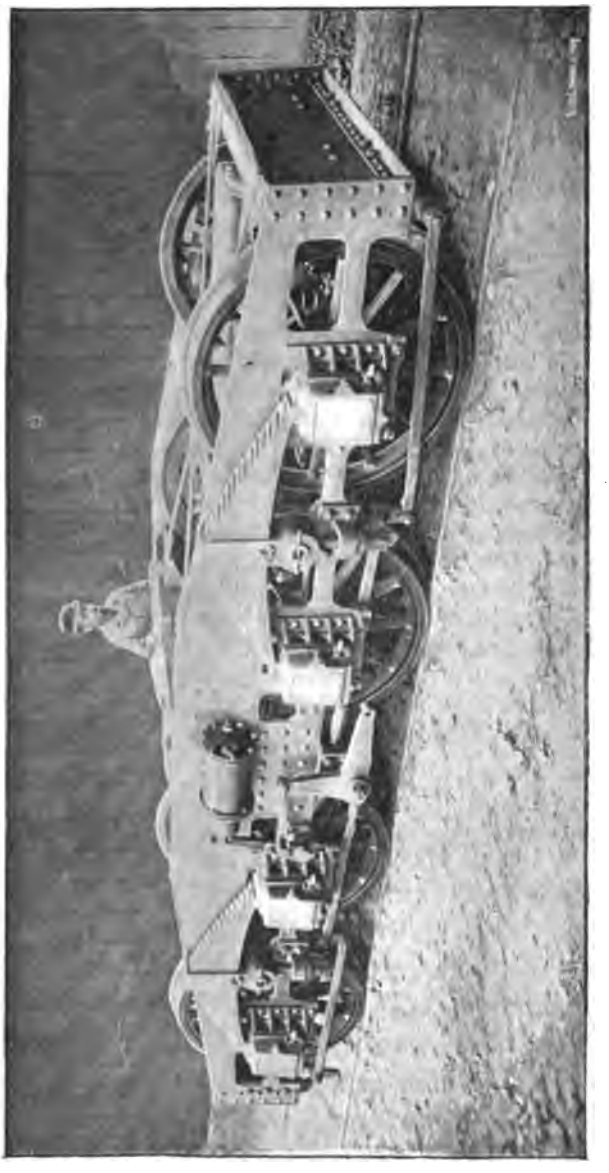


Fig. 401. — Locomotive Heilmann. — Ensemble d'un des bogies des nouvelles machines.

(p. 286), mais avec une construction beaucoup plus robuste. Il comporte deux balanciers latéraux à double flasque, reposant sur les boîtes à huile par des ressorts à boudin et reliés transversalement par des entretoises qui supportent les moteurs. Deux forts longerons en fonte malléable, faisant corps avec les

Digitized by Google

plaques de garde, sont réunis par une traverse maîtresse portant la crapaudine, et le tout est soutenu par deux paires de ressorts en hélice appuyés sur les balanciers et par deux paires de ressorts à lames suspendus par des menottes inclinées aux deux entretoises inférieures. Cette disposition a pour but, tout en laissant au truck un certain jeu latéral (57 mm.), de réaliser la transmission directe et rigide de l'effort moteur à la crapaudine. Ce truck peut, avec des roues de 0,84 m. et un empattement de 1,68 m., recevoir deux gros moteurs de 125 chev.; la figure 398 le représente muni de moteurs de 50 chev. Il pèse 4500 kg. et coûte 1625 fr.

Enfin, nous donnons (fig. 399) l'élévation d'un truck moteur du Metropolitan West Side R.R. de Chicago. Il est construit à peu près comme un bogie de locomotive ordinaire, mais avec une suspension plus parfaite.

Comme exemple de truck articulé à plus de deux essieux, nous citerons les bogies à huit roues de la locomotive Heilmann (fig. 400 et 401). Leurs longerons, formés chacun de deux flasques de 12 mm., rivées sur un cadre en acier forgé, sont réunis par une entretoise en acier coulé qui porte le pivot et par deux entretoises en tôle et cornières placées de chaque côté de la première.

Le premier modèle (fig. 400), employé primitivement sous la « Fusée » électrique, a été transformé depuis en châssis de locomotive à huit roues pour la ligne de Saint-Germain. Le second (fig. 401) n'en diffère que par quelques détails.

La principale difficulté de la construction consistait à répartir également la charge entre les quatre essieux. Pour y parvenir dans la mesure du possible, on les a réunis deux à deux par des ressorts longitudinaux qui tiennent lieu de balanciers et, en outre, on a fait reposer la machine sur chaque bogie par l'intermédiaire de deux genouillères sphériques, placées dans un plan perpendiculaire à la voie et qui contient aussi le pivot; le truck peut ainsi osciller autour d'un axe horizontal perpendiculaire à la voie, ce qui tend à donner une égale répartition de la charge sur les essieux.

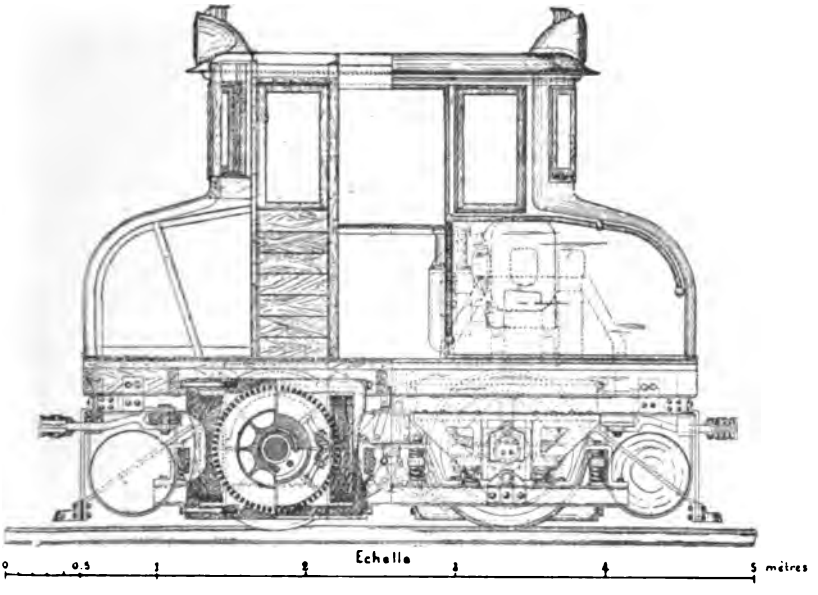
## § 3. — Description de quelques types modernes pour grandes lignes de chemins de fer

On a vu plus haut au paragraphe 1 de nombreux exemples de petites locomotives destinées à des services secondaires, soit à la traction de trains légers sur les lignes industrielles ou les lignes d'intérêt local, soit aux manœuvres de gare. Les plus récents de ces types, notamment ceux de la maison Ganz, dont les dispositions sont excellentes, continuent à être construits pour des cas analogues. Nous ne reviendrons donc pas sur leur description; ils ne présentent pas du reste un intérêt bien spécial, car ils ne diffèrent guère des automobiles de tramways de même puissance.

Digitized by Google

Il n'en est pas de même des locomotives de grande puissance destinées au service normal des grandes lignes ; ce sont celles-là seules que nous considérerons ici.

On trouve aujourd'hui en Amérique une série de types de locomotives de grandes lignes fort bien étudiés, en particulier ceux construits par la General Electric Co. et par les Ateliers de locomotives Baldwin. En Europe nous sommes moins avancés, car il n'existe pas de « série » de ce genre ; la seule machine qu'on puisse




Demi-élévation et demi-coupe longitudinales.

Fig. 402. — Locomotive de 30 t. de la Cie Thomson-Houston.

citer pour le service des grandes lignes est la locomotive Heilmann.

Nous décrirons successivement ces trois classes de machines.

**Locomotives de la General Electric Co.** — La General Electric Co. a construit deux catégories de locomotives, les unes à commande directe, les autres avec engrenages.

Parmi les premières, on doit citer particulièrement la locomotive de 30 t., type 1893, et la locomotive de 90 t. du Baltimore and Ohio R.R. (1895).



Digitized by Google

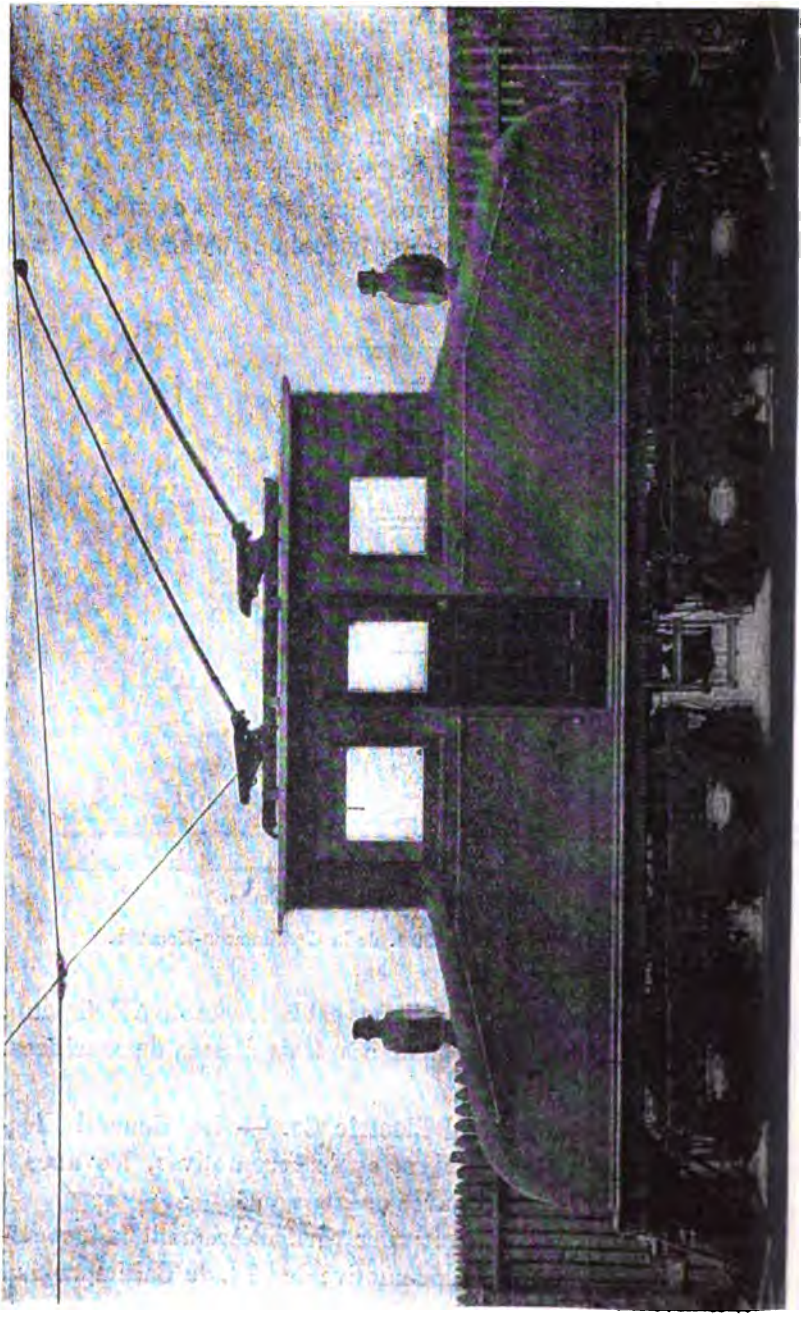


Fig. 493. — Locomotive de 40 t. à engrenages de la General Electric Co.

Digitized by Google

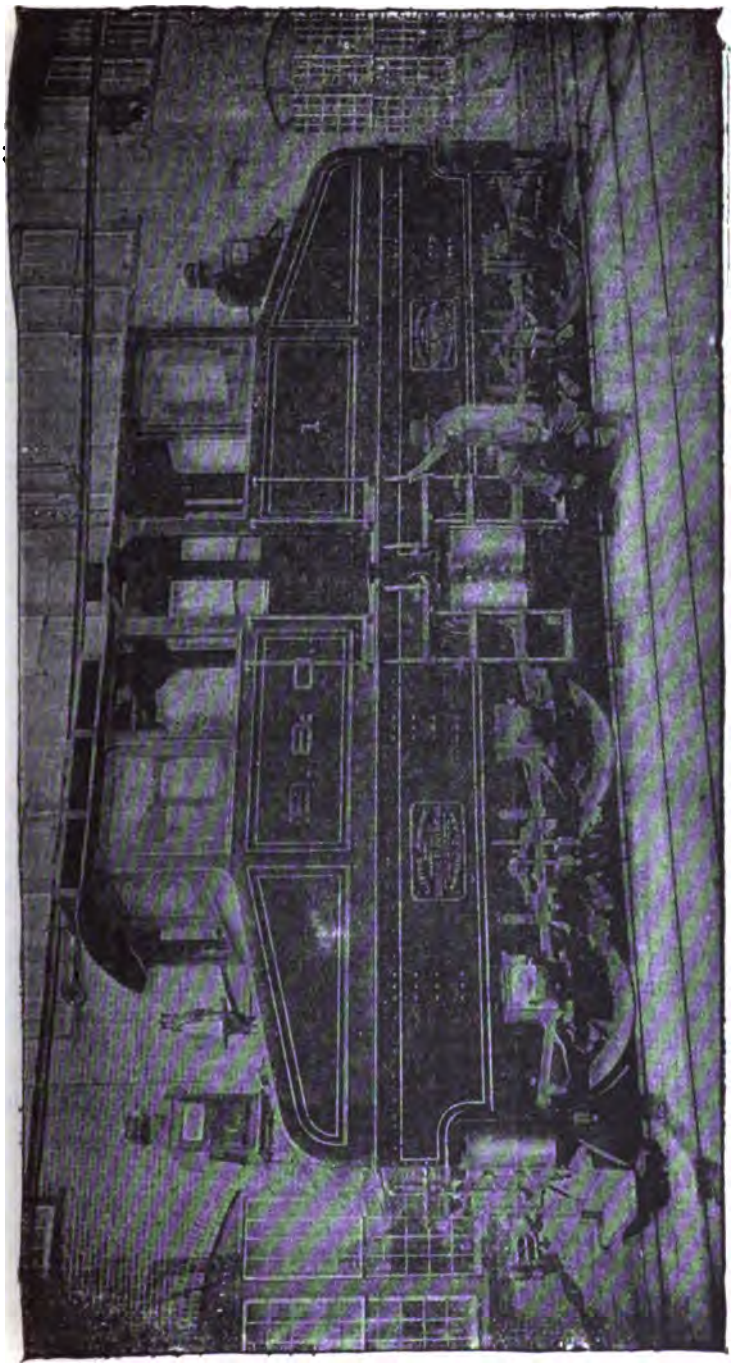


Fig. 404. — Locomotive du Baltimore and Ohio R. R. — Vue d'ensemble.

Digitized by Google

La *locomotive de* 30 *tonnes* pour voie normale, exposée d'abord à la World's Fair de Chicago par la Cie Thomson-Houston, est formée d'un châssis reposant sur deux essieux moteurs (fig. 402). Chacun de ceux-ci est commandé directement par un moteur à arbre creux accouplé élastiquement suivant le dispositif Raffard (p. 8). Les inducteurs à 4 pôles, dont deux conséquents, reposent par l'intermédiaire de ressorts spiraux sur un châssis en fer à double T, supportant en même temps les boîtes à graisse.

Les données principales de cette machine sont les suivantes :

Poids . . . . . 30 t.
Effort à la jante des roues, normal 3 200 kg., au démarrage 6500 kg.
Hauteur, 2,51 m.; longueur, 5,53 m.; largeur, 3,51 m.
Ecartement des essieux, 1,676 m. ; diamètre des roues, 1,12 m.
Courant normal, 600 amp. à la vitesse de 32 km : h., avec les deux moteurs en parallèle ; vitesse maxima sous faible charge, 80 km : h.

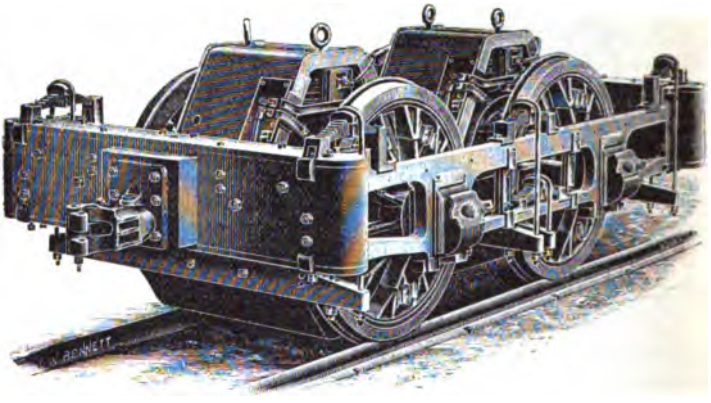


Fig. 405. — Locomotive du Baltimore and Ohio R.R.
Ensemble d'un truck moteur.

A la même époque, la même Compagnie avait construit pour le service de l'Exposition des automobiles de 30 t. en charge constituant de véritables locomotives et munies de 2 bogies ayant chacun de leurs essieux commandés par des moteurs G. E. 2500 de 100 kilowatts à engrenages.

Elle a établi depuis, avec des bogies analogues, une locomotive de 40 tonnes, dont la figure 403 indique suffisamment les dispositions et dont le tableau suivant résume les données principales :

| | |
|---|---|
| Poids . . . . . | 40 t. |
| Effort à la jante des roues. . . . . | 6 400 kg. |
| Hauteur totale . . . . . | 3,800 m. |
| Longueur — . . . . . | 7,315 — |
| Largeur — . . . . . | 2,540 — |
| Empattement des bogies. . . . . | 1,830 — |
| Diamètre des roues . . . . . | 1,016 — |

Digitized by Google

La même locomotive peut être construite pour des puissances moindres, en remplaçant simplement le type de moteur par un autre.

Quant aux *locomotives du Baltimore and Ohio R.R.* (1895), représentées par les figures 404, 405 et 406, elles sont formées d'un châssis robuste, reposant sur deux trucks élevés à 4 roues, qui portent sur chaque essieu un moteur à commande directe et sont reliés par une articulation. Leurs principales constantes sont les suivantes :

| | |
|---|---|
| Poids. . . . . | 90 t. |
| Diamètre des roues. . . . . | 1,575 m. |
| Effort à la jante des roues, normal . . . . . | 18 000 kg. |
| Effort maximum possible. . | 27 500 — |
| Longueur totale . . . . . | 13,00 m. |
| Hauteur — . . . . . | 4,33 — |
| Largeur — . . . . . | 2,89 — |
| Empattement des bogies . . | 2,08 — |
| Puissance de chaque moteur. | 360 chev. |
| Puissance électrique consommée par chacun, 900 amp. × 300 volts. | |

Les moteurs (fig. 407), du type L. W. P. 20, sont à 6 pôles avec inducteurs de forme pyramidale construits suivant le schéma de la figure 134 (p. 170), avec cette différence qu'on a ajouté de petites bobines supplémentaires sur les pôles conséquents ; ces petites bobines ont 15 spires et les grandes 88, soit en tout 103 spires inductrices par champ. L'induit est bobiné en tambour, avec 6 balais en parallèle ; le noyau porte 145 rainures contenant chacune 2 barres de cuivre de 12,2 × 5,8 mm. maintenues par des clavettes en bois. Le collecteur est à 145 touches ; le voltage prévu est de 250 volts par moteur.

L'induit et le commutateur sont clavetés sur un arbre creux dont le diamètre intérieur est supérieur de 6 cm. à celui de l'essieu. L'arbre enfilé sur l'essieu commande celui-ci au moyen d'un croisillon d'entraînement à 5 branches, portant à

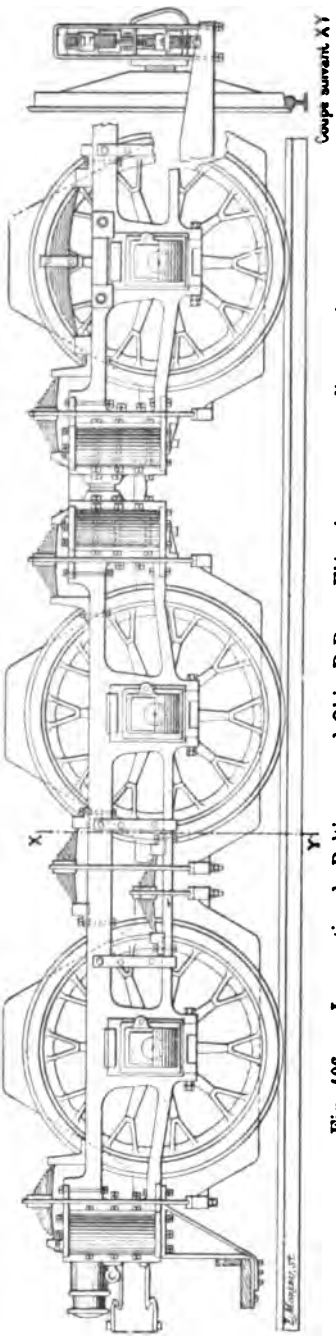



Fig. 406. — Locomotive du Baltimore and Ohio R.R. — Elévation et coupe d'un truck moteur.

Digitized by Google

l'extrémité de ses bras des projections en acier trempé, qui viennent se loger entre les rais près de la jante ; des tampons de caoutchouc réalisent l'élasticité nécessaire.

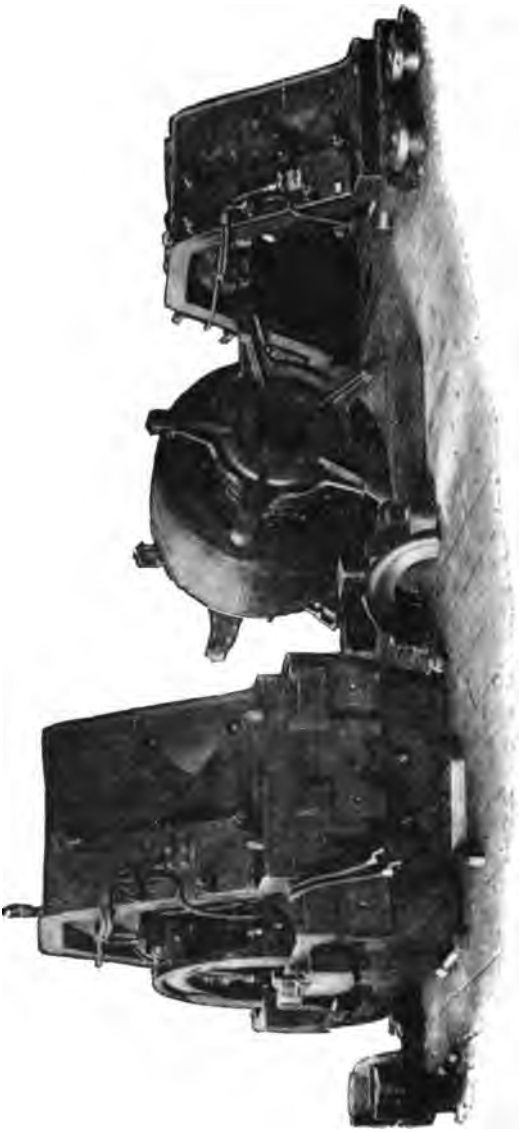


Fig. 407. — Locomotive du Baltimore and Ohio R.R. — Détails des moteurs.

La figure 407 représente un moteur complet et un autre démonté ; elle montre bien la forme du croisillon d'entraînement.

Les moteurs prennent chacun 900 ampères × 300 volts à la vitesse réduite de

Digitized by Google

70 tours : m. et développent normalement 360 chev., soit 1 500 chev. pour les quatre ; ils sont couplés par deux en parallèle et deux en série.

La tension normale du réseau devait être de 500 volts.

La figure 408 indique les rendements et les efforts de traction relevés dans les ateliers de la General Electric Co. sur un des moteurs aux tensions de 250 et de 500 volts ; le rendement dépasse, comme on le voit, 90 p. 100 entre le 1/4 de charge et la pleine charge.

La cabine placée sur les trucks contient les appareils de régulation de marche (méthode série-parallèle), les instruments de sécurité et de mesure, et les appareils de commande du frein à air.

Ces locomotives ont été construites pour remorquer des trains de voyageurs et de marchandises dans la traversée souterraine de la ville de Baltimore, où l'on n'a pas admis l'emploi de locomotives à vapeur.

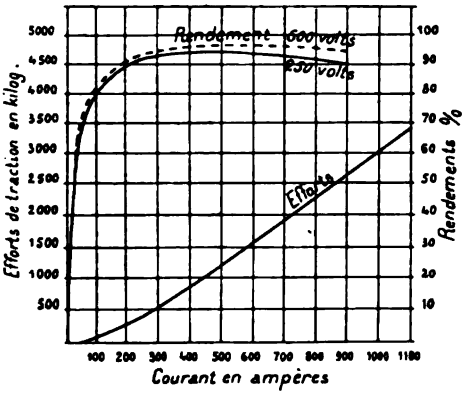



Fig. 408. — Locomotive de Baltimore and Ohio R.R. — Courbes de rendement des moteurs.

Le parcours à effectuer est de 4,5 km. entre la station d'Henrietta, à 550 m. de l'ouverture du tunnel du côté de Camden, et un point situé à 1 500 m. au delà de la station de Mont-Royal. Ce parcours présente une rampe de 15 mm. par m. au delà de Mont-Royal.

Les locomotives devaient pouvoir pousser les trains de marchandises les plus lourds (1 200 t.) à la vitesse de 25 kilomètres à l'heure sur une rampe de 8 mm. et remorquer des trains de voyageurs de 500 t. à la vitesse de 50 km : h. Aux essais, on a constaté que cette dernière vitesse pouvait être dépassée et atteindre 56 km : h. ; la machine seule a pu atteindre sans inconvénient, sur une rampe de 8 mm., la vitesse, de 98 km : h., qui correspond pour les moteurs à une vitesse de 350 tours : m. seulement. Le travail maximum a été obtenu en faisant remorquer à la machine deux trains de marchandises de 44 wagons chargés et 3 grosses locomotives, le tout pesant environ 1 900 tonnes ; le démarrage de ce train a été obtenu sur une rampe de 8 mm. avec un courant de 2 200 ampères sous 625 volts ; l'effort de traction correspondant, calculé à raison de 13 kg. par ampère, était de 19 000 kg. ; la vitesse a été portée ensuite à 20 km : h. sous un courant de 1 800 ampères.

Le train de 1 200 t. démarrait avec un courant de 1 500 ampères sur une rampe de 8 mm.

Les locomotives précédentes sont des types spéciaux qui n'ont eu encore qu'un petit nombre d'applications. La General Electric Co. construit en outre des locomotives de série plus petites, dont

Digitized by Google

LOCOMOTIVES DE SÉRIE DE LA GENERAL ELECTRIC CO.

| NUMÉRO du TYPE | EFFORT de traction en kg. | VITESSE en kilomètres à l'heure. | CLASSE | NOMBRE de moteurs. | DIMENSIONS PRINCIPALES EN MÈTRES | | | | | | | POIDS en kg. | PRIX de 1893 en francs. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Largeur de voie minima. | Empattement. | Diamètre des roues. | Longueur. | Largeur. | Hauteur de la plate-forme. | Hauteur totale. | | |
| | | | | | **Locomotives T. M. F.** | | | | | | | | |
| 1 | 113 | 9,65 | 2 1/2-6 | 1 | 0,457 | 0,610 | 0,508 | 2,134 | 0.991 | 0,610 | » | 1 132 | 12 000 |
| 2 | 113 | 16,00 | 2 1/2-10 | 1 | 0,457 | 0,610 | 0,508 | 2,134 | 0,991 | 0.610 | » | 1 132 | 12 000 |
| 3 | 226 | 9,65 | 5-6 | 2 | 0,457 | 0,610 | 0,508 | 2,134 | 0,991 | 0,610 | » | 1 359 | 16 500 |
| 4 | 226 | 16,00 | 5-10 | 2 | 0,457 | 0,610 | 0,508 | 2,134 | 0,991 | 0,610 | » | 1 359 | 16 500 |
| 5 | 181 | 9,65 | 4-6 | 1 | 0,610 | 0,610 | 0,508 | 2,134 | 1,144 | 0,610 | » | 1 812 | 12 750 |
| 6 | 181 | 16,00 | 4-10 | 1 | 0,610 | 0,610 | 0,508 | 2,134 | 1,144 | 0,610 | » | 1 812 | 12 750 |
| 7 | 362 | 9,65 | 8-6 | 2 | 0,610 | 0,915 | 0,508 | 2,134 | 1,144 | 0,610 | » | 2 265 | 17 250 |
| 8[1] | 362 | 16,00 | 8-10 | 2 | 0,610 | 0,915 | 0,508 | 2,134 | 1,144 | 0,610 | » | 2 265 | 17 250 |
| 17 | 317 | 9,65 | 7-6 | 1 | 0,762 | 1,524 | 0,762 | 3,810 | 1,956 | 1,067 | 3,607 | 3 624 | 21 000 |
| 18 | 317 | 16,00 | 7-10 | 1 | 0,762 | 1,524 | 0,762 | 3,810 | 1,956 | 1,067 | 3,607 | 3 624 | 21 000 |
| 19 | 679 | 9,65 | 15-6 | 2 | 0,762 | 1,524 | 0,762 | 3,810 | 1,956 | 1,067 | 3,607 | 4 530 | 27 000 |
| 20 | 679 | 16,00 | 15-10 | 2 | 0,762 | 1,524 | 0,762 | 3,810 | 1,956 | 1,067 | 3,607 | 4 530 | 27 000 |
| 21 | 543 | 9,65 | 12-6 | 1 | 0,914 | 1,524 | 0,762 | 3,810 | 1,956 | 1,067 | 3,607 | 5 889 | 30 000 |
| 22 | 544 | 16,00 | 12-10 | 1 | 0,914 | 1,524 | 0,762 | 3,810 | 1,956 | 1,067 | 3,607 | 5 889 | 30 000 |
| 23 | 1 132 | 9,65 | 25-6 | 2 | 0,914 | 1,524 | 0,762 | 3,810 | 1,956 | 1,067 | 3,607 | 7 248 | 37 500 |
| 24 | 1 132 | 16,00 | 25-10 | 2 | 0,914 | 1,524 | 0,762 | 3,810 | 1,956 | 1,067 | 3,607 | 7 248 | 37 500 |
| 25 | 906 | 12,07 | 20-7 1/2 | 1 | 1,435 | 1,524 | 0,914 | 3,810 | 1,956 | 1,067 | 3,607 | 8 154 | 34 500 |
| 26 | 906 | 16,00 | 20-10 | 1 | 1,435 | 1,524 | 0,914 | 3,810 | 1,956 | 1,067 | 3,607 | 8 154 | 34 500 |
| 27 | 1 812 | 12,07 | 40-7 1/2 | 2 | 1,435 | 1,524 | 0,914 | 3,810 | 1,956 | 1,067 | 3,607 | 10 872 | 45 000 |
| 28 | 1 812 | 16,00 | 40-10 | 2 | 1,435 | 1,524 | 0,914 | 3,810 | 1,956 | 1,067 | 3,607 | 10 872 | 45 000 |

[1] Les types 9 à 16 ne sont que la répétition des types 5, 6, 7, 8, pour des voies de 0,762 m. et 0,914 m. au lieu de 0,610 m. ; le poids et le prix restent les mêmes, ainsi que les dimensions autres que la largeur, qui est portée à 1,296 m. et 1,448 m. respectivement.

Digitized by Google

le tableau ci-contre résume les données et les prix de catalogue[1]. La construction de ces machines est analogue à celle des voitures de tramways à simple truck, mais plus ramassée.

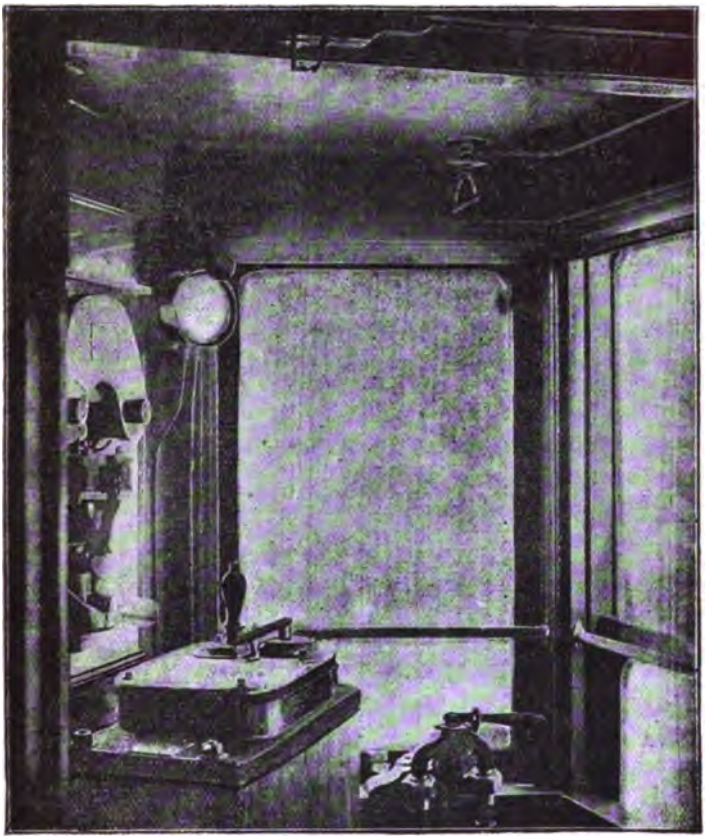


Fig. 409. — Cabine de mécanicien sur une voiture locomotrice de la General Electric Co.

D'autre part, la même Compagnie a équipé un certain nombre de puissantes voitures locomotrices qui sont en service sur le Metropolitan R. R. et le Lake Street Elevated R. R. de Chicago, les lignes électriques du New York, New Haven and Hartford R. R. (Nantasket

[1] Ces chiffres, datant de 1893, sont certainement trop élevés aujourd'hui, mais la Société française Thomson-Houston, représentante de la General Electric Co. en France, n'a pas voulu nous indiquer les prix actuels sous prétexte qu'ils varient constamment suivant les affaires. Nous ne donnons donc les chiffres ci-dessus que comme échelle relative.

Digitized by Google

Beach-E. Weymouth et Hartford-Berlin), le pont de Brooklyn, etc., et qui ont été munies de moteurs à engrenages.

Nous avons déjà donné au chapitre VI quelques détails sur les voitures électriques de Chicago et de Brooklyn.

Les locomotrices du Metropolitan West Side R. R. sont équipées avec deux moteurs G. E. 2000 montés sur le même bogie pour la commodité des répations et capables de leur imprimer une vitesse maxima de 65 km. Elles pèsent en charge 28 t. environ et remorquent des trains de deux ou trois voitures ordinaires pesant chacune 21 t. en charge à la vitesse commerciale de 20 km. à l'heure, avec des arrêts tous les 600 m. en moyenne. Plus tard, quand le trafic se développera, on leur ajoutera deux moteurs semblables, de manière à leur permettre de remorquer cinq voitures ordinaires, le tout formant un train de près de 140 t., à la vitesse commerciale de 15 km : h.

Celles du Lake Street Elevated ont le même équipement à 4 moteurs.

Ces deux types de voitures comportent une cabine de mécanicien complètement close placée dans un coin de la caisse et contenant tous les appareils de manœuvre. La figure 409 montre la vue intérieure de la cabine des voitures du Metropolitan West Side R. R.

Sur la ligne de Nantasket Beach, les voitures motrices sont ouvertes ou fermées. Ces dernières sont de lourds fourgons à marchandises (fig. 409) mesurant 12, 80 m. de longueur totale et construits d'une façon très robuste; complètement équipés, ils pèsent plus de 27 t. Deux voitures sur quatre portent deux moteurs montés sur le même truck, tandis que les deux autres ont quatre moteurs. Les voitures motrices ouvertes, de 15,50 m. de longueur, à 96 places, pèsent 19,5 t. sans appareils électriques et n'ont que deux moteurs chacune. Ces moteurs sont tous du type G. E. 2 000 de 125 chev.

L'équipement de la ligne plus récente d'Hartford à Berlin par New Britain est identique, sauf qu'on n'y emploie que des voitures ouvertes. Le service est fait par des trains de deux voitures, dont une motrice; la vitesse commerciale est de 45 km : h. environ.

Lors des essais, les fourgons locomoteurs de Nantasket ont été reconnus capables de remorquer jusqu'à 30 wagons de gravier à pleine charge.

Des locomotives-fourgons analogues sont construites avec d'autres puissances, notamment le fourgon G. M. à 4 moteurs G.E. 800, qui pèse 16 t., et le fourgon G.M. à 4 moteurs G.E. 1 200, qui pèse 24 t.

Les voitures locomotrices du pont de Brooklyn sont équipées avec 4 moteurs G. E. 50 de 65 chev. environ.

Enfin la General Electric Co. poursuit actuellement à Schenectady, sur une voie d'expériences spéciale, des essais de traction électrique dans les conditions ordinaires de service des chemins de fer, au moyen d'une voiture locomotrice pesant 30 t. à vide, munie de 4 moteurs G. E. 2 000 et contenant à l'avant une cabine pour le mécanicien, les appareils de manœuvre et les instruments de mesure, au centre un compartiment à voyageurs et à l'arrière un poste pour le compresseur d'air, les outils, etc.

Digitized by Google

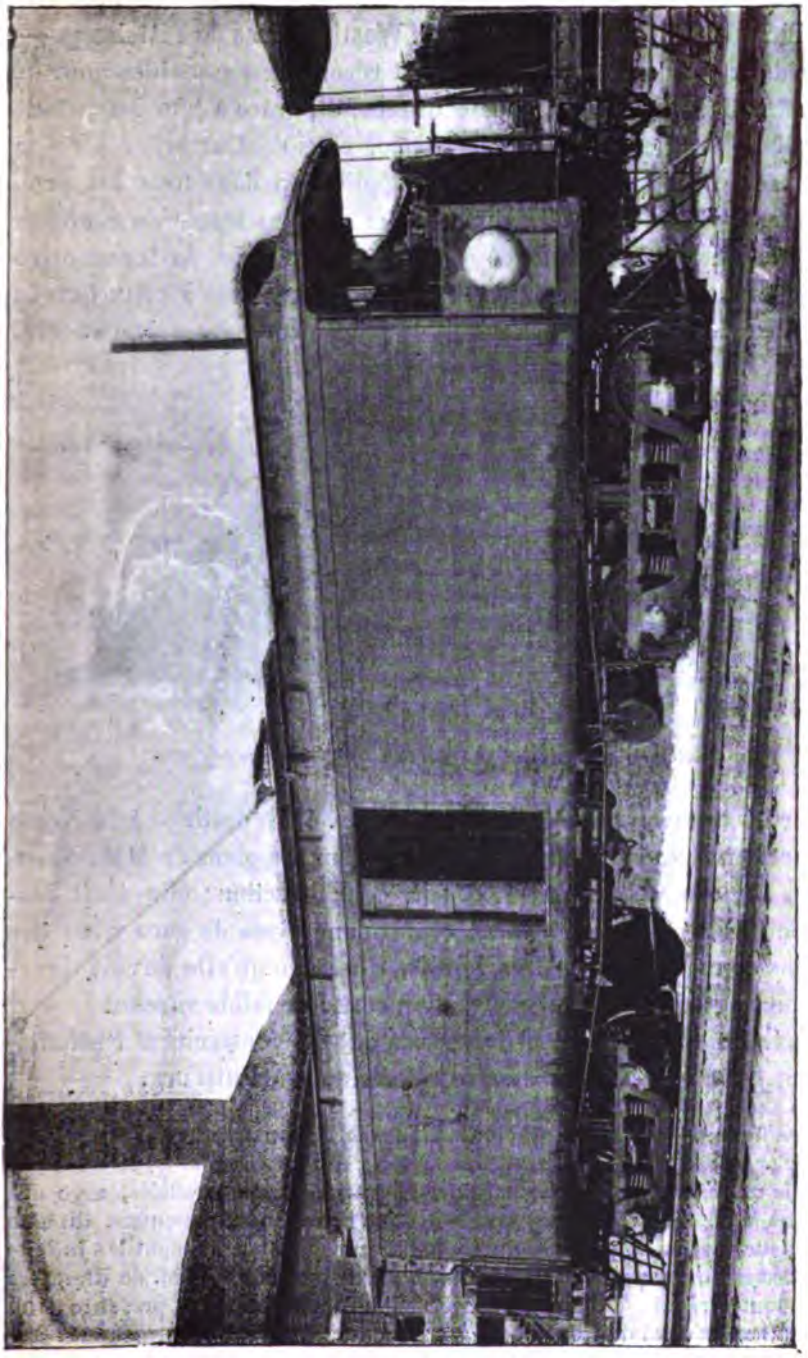


Fig. 410. — Locomotrice-Fourgon, type G. M., de la General Electric Co. (ligne de Nantasket Beach).

Digitized by Google

**Locomotives et locomotrices électriques des Ateliers Baldwin de Philadelphie et de la Compagnie Westinghouse de Pittsburg.** — Ces deux puissantes maisons se sont récemment associées pour la construction de locomotives électriques, et, grâce à leur important outillage et à leur grande expérience, elles sont arrivées à créer une série de types susceptibles d'application dans tous les problèmes de la traction électrique sur les grandes lignes de chemins de fer. Elles ont commencé en 1893 par un essai de locomotive à moteurs calés directement sur l'essieu, analogues à ceux que la Compagnie Westinghouse venait de préconiser, sans grand succès,

Fig. 411. — Locomotive Sprague, Duncan et Hutchinson.

pour les tramways. Cette locomotive (fig. 411), destinée à la North American Company, avait été exécutée sur les plans de MM. *Sprague, Duncan et Hutchinson*, et sous leur direction ; elle était destinée à des essais de traction et de manœuvres de gare avec des trains de marchandises très lourds, c'est dire qu'elle devait développer un puissant effort de traction sous une faible vitesse.

La partie mécanique et le châssis ont été construits à Philadelphie, les moteurs et accessoires électriques à Pittsburg.

Les figures 412 et 412 *bis* indiquent le mode de construction et les principaux organes de cette machine.

Elle est formée d'un châssis en acier à quatre essieux parallèles, avec des guides de boîtes très élevés. Les boîtes, en acier fondu, présentent du côté intérieur des consoles supportant les inducteurs des moteurs, dont les induits sont calés directement sur les essieux. Les huit roues de 1,40 m. de diamètre sont toutes réunies ensemble par des bielles d'accouplement et présentent un empattement total de 4,50 m.

Digitized by Google

Les moteurs, dont le poids repose entièrement sur les essieux, sans interposition de ressorts, ce qui est fort défectueux, sont du type à 4 pôles, dont 2 conséquents, excités en compound, l'enroulement en dérivation étant juste suffisant pour empêcher l'emballement sous faible charge.

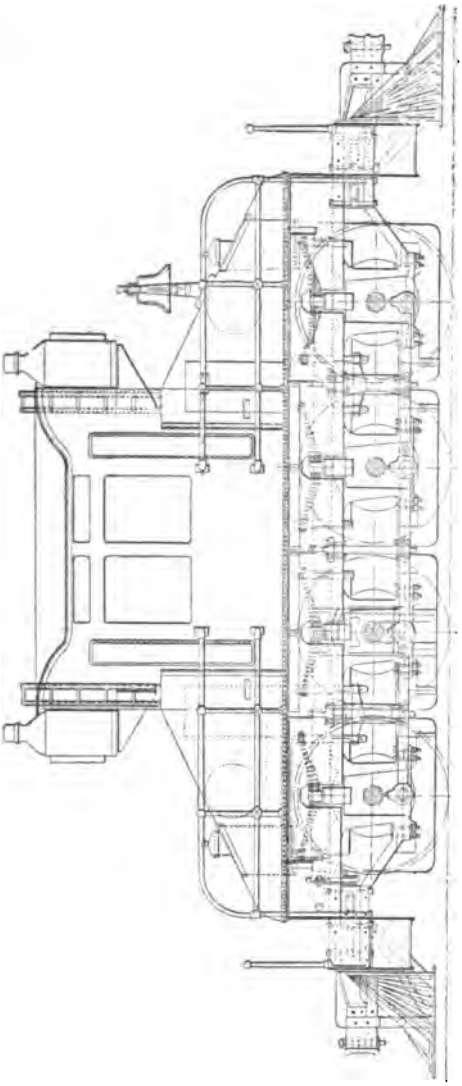
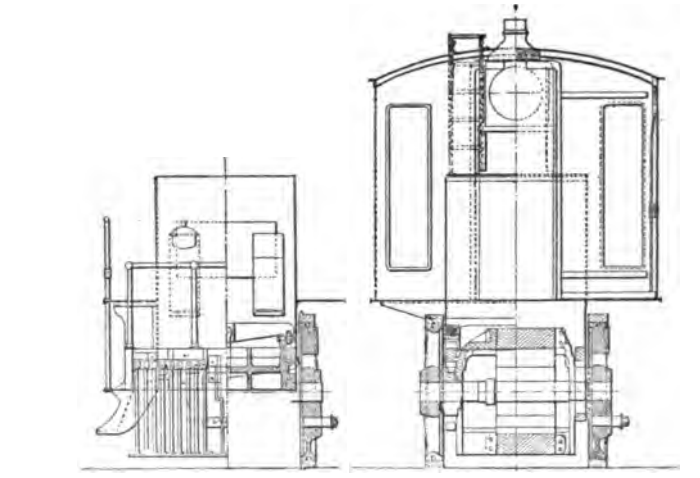


Fig. 412. — Élévation générale de la locomotive Sprague, Duncan et Hutchinson.

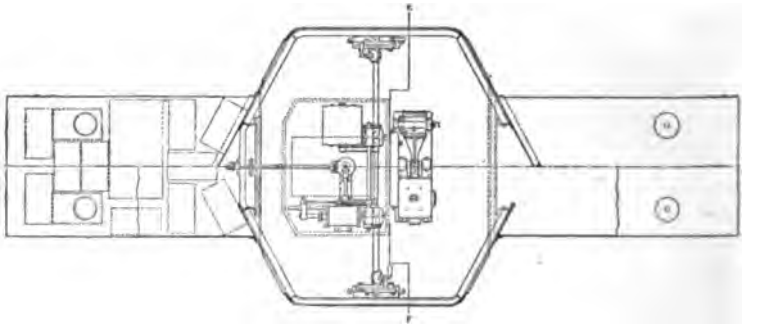
Les induits en tambour contiennent 4 fils par encoche, en tout 237 fils, bobinés en série; ils ont 775 mm. de diamètre et 525 mm. de longueur. Les inducteurs ont une hauteur de 1 150 mm. et leur surface inférieure est à 125 mm. au-dessus du rail.

Digitized by Google

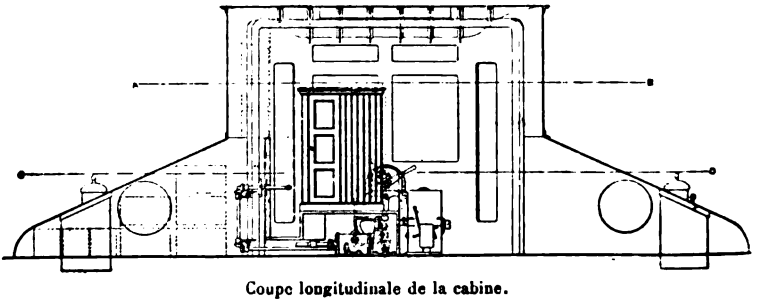
La régulation de marche se fait par la méthode série-parallèle ; le régulateur



Coupes transversales.



Coupes horizontales AB et CD.



Coupe longitudinale de la cabine.

**Fig. 412 *bis*.** — Locomotive Sprague, Duncan et Hutchinson. — Coupes.

est manœuvré, soit à la main, soit à l'air comprimé. Une cabine centrale sert de logement au mécanicien, et renferme les appareils de marche et le com-

Digitized by Google

presseur d'air nécessaire pour la manœuvre des freins, ainsi que les ampèremètre, voltmètre, sifflet à air comprimé, etc.

Le poids total de cette locomotive est de 55 t. environ; elle développe un effort de traction au démarrage de 13 600 kg. Chaque moteur peut supporter 250 ampères et donne, sous une tension de 800 volts, une puissance d'environ 250 chev. à la vitesse de 225 tours correspondant à 56 kilomètres à l'heure.

Cette locomotive présentait une certaine infériorité de construction par rapport aux locomotives du Baltimore and Ohio R.R., par suite de l'emploi de quatre essieux parallèles et de moteurs suspendus non élastiquement. Ces inconvénients, joints au poids exagéré des moteurs, l'ont fait abandonner par les constructeurs au profit des locomotives à engrenages très rationnelles que nous allons maintenant décrire.

Ces locomotives à engrenages constituent le matériel spécial de traction électrique sur les chemins de fer le plus complet qui existe à l'heure actuelle. Il comprend plusieurs séries de locomotives, pour trains express, pour trains de marchandises, pour manœuvres de gare, pour trains légers sur lignes de banlieue, etc. Nous en indiquerons les dispositions essentielles[1].

Les *locomotives pour trains de marchandises*, dont la figure 413 représente l'aspect général, construites pour toutes puissances jusqu'à 2000 chevaux, sont portées par 2 bogies très robustes à 2 ou 3 essieux, tous moteurs; elles comportent une caisse très simple formant fourgon, dont le châssis est établi en fer ⊔ de forte section, de manière à pouvoir supporter les chocs violents qui accompagnent les manœuvres de gare ; cette caisse peut être utilisée pour recevoir des marchandises, sauf à l'une de ses extrémités où un petit espace est réservé pour loger un régulateur de marche unique, du type série-parallèle, manœuvré à volonté de l'une ou l'autre extrémité de la locomotive.

Deux portes doubles à coulisse sont ménagées sur les côtés pour faciliter la manutention des marchandises ; la caisse porte en outre à ses extrémités deux autres portes qui permettent d'y accéder du train.

Si le poids propre de la locomotive avec son chargement n'est pas suffisant pour réaliser l'adhérence nécessaire, on ajoute du lest au châssis sous forme de saumons de fonte ou d'un platelage en tôle.

On construit également pour trains de marchandises des locomotives doubles formées de deux châssis plus courts, accouplés au centre, et dont tous les moteurs sont encore manœuvrés par un seul régulateur de marche.

[1] D'après l'intéressante brochure, *Baldwin-Westinghouse Electric Locomotives*, par David Leonard Barnes, 1896, dont une partie des figures nous ont été gracieusement prêtées par la Société Baldwin.

Digitized by Google

Quand les circonstances s'y prêtent, ces deux châssis se font à 3 ou 4 essieux, accouplés par bielles.

Les *locomotives de manœuvres* présentent les mêmes dispositions générales, avec cette différence qu'on réduit leur longueur autant que possible et que la caisse est restreinte à une simple cabine pour le mécanicien; on ajoute quelquefois, à l'une des extrémités du châssis, une grue électrique destinée à la manutention des marchandises.

Lorsque deux moteurs suffisent, on réduit à deux le nombre des paires de roues, comme le montre la figure 449, page 536.

Pour le *service des voyageurs* sur les grandes lignes, les locomotives ont exactement la même disposition que celle de la figure 413, à quelques détails près; leur puissance peut seulement être un peu réduite; on les construit pour des puissances de 100 à 1 600 chev., avec bogies à 4 ou 6 roues et une caisse

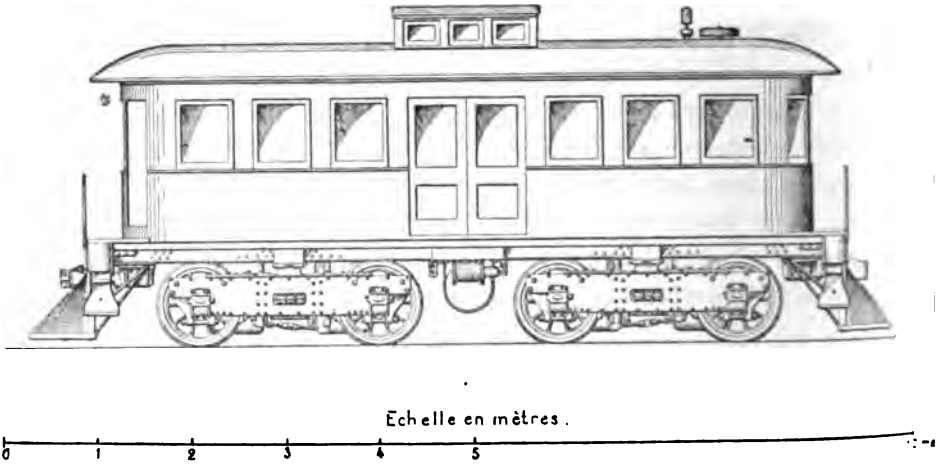



Fig. 413. — Locomotive à marchandises Baldwin-Westinghouse.

dont le châssis est établi en vue de résister aux chocs les plus violents qu'on ait à prévoir en service. Pour accroître la rigidité de ce châssis, on le recouvre sur toute sa surface d'un platelage en tôle d'acier de 10 ou 12 mm. d'épaisseur et même davantage si l'on a besoin d'une grande adhérence. La caisse sert à loger des marchandises ou les bagages des voyageurs.

La locomotive de ce genre représentée par la figure 414 a une longueur de 11,60 m. et une largeur de 2,75 m.; elle est munie de 4 essieux indépendants à roues de 1,07 m. de diamètre, commandés par des moteurs de 200 chev.; elle pèse 75 tonnes.

Pour les services à grande vitesse, des mesures de précautions spéciales sont prises pour protéger le mécanicien contre les accidents que pourrait causer le bris des fenêtres par des objets projetés contre la locomotive par les chasse-pierres.

Sur les lignes de banlieue et sur les lignes métropolitaines, il est avantageux d'employer, comme nous l'avons dit (p. 355), des trains légers formés d'une ou

Digitized by Google

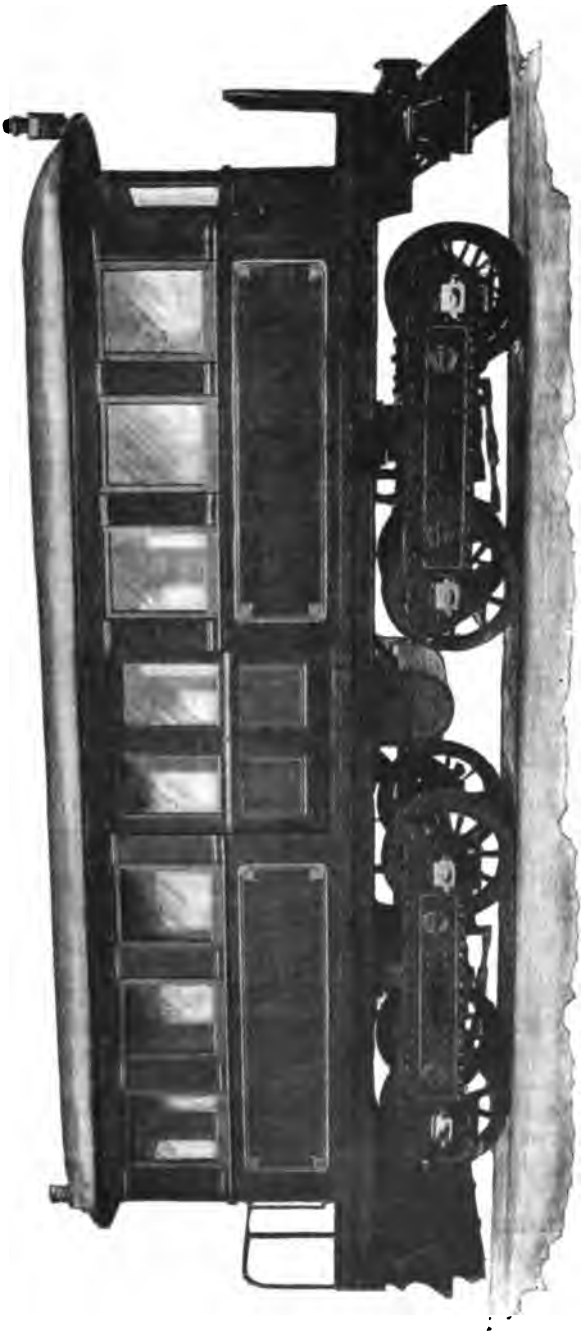


Fig. 414. — Locomotive d'express Baldwin-Westinghouse, sans ses moteurs.



Digitized by Google

plusieurs grandes automobiles à deux bogies moteurs (2 moteurs par bogie).

La figure 415 montre un type de voiture étudié en vue de ce service et pouvant jouer au besoin le rôle de locomotive. Le châssis est métallique et renforcé par un platelage continu en tôle de 9,5 mm. La caisse est construite suivant les dimensions et la capacité que l'on désire; toute la place reste disponible pour les voyageurs, sauf à l'une des extrémités où est réservé un petit logement pour les régulateurs de marche, rhéostats de démarrage, etc. Ces voitures locomotrices peuvent être manœuvrées de l'une ou l'autre extrémité ; le poste de manœuvre situé à l'arrière de la voiture est occupé par les voyageurs pendant que le mécanicien se trouve à l'avant. Le plancher n'est traversé que par deux câbles principaux aboutissant respectivement aux deux bogies. La voiture porte à chaque extrémité un ampèremètre, un voltmètre et un robinet de manœuvre des freins à air comprimé. Chaque moteur est pourvu d'un interrupteur automatique, qui en coupe le circuit en cas

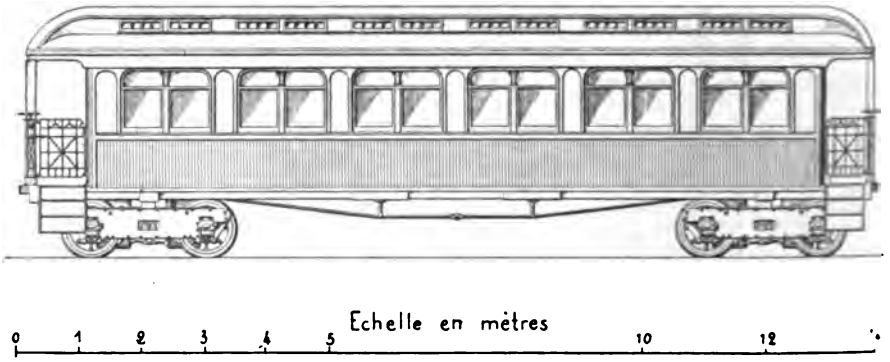



Fig. 415. — Voiture locomotrice Baldwin-Westinghouse pour service de banlieue ou métropolitain.

d'avarie ou de surcharge. Le circuit principal comporte, du reste, un interrupteur de fort ampérage, qui peut être manœuvré par le mécanicien et qui, en tout cas, s'ouvre automatiquement toutes les fois qu'on tourne le robinet à freins pour produire l'arrêt instantané. Tous les interrupteurs et instruments sont montés sur un tableau de fibre vulcanisée. On accède à cette voiture par les deux extrémités, qui sont munies de plates-formes communiquant avec l'intérieur par des portes à coulisse, comme dans les voitures américaines ordinaires.

Les trucks de ces diverses locomotives ont été décrits ci-dessus (p. 441); ils sont munis de moteurs tétrapolaires à pôles conséquents, dont nous avons indiqué plus haut (p. 208) la construction et le mode de suspension reportant la moitié du poids sur le truck et l'autre directement sur l'essieu. Suivant les applications, on prend des unités de 50, 100 ou 200 chevaux; le coefficient de réduction des engrenages est modifié de même suivant la vitesse de marche désirée.

Le prix des locomotives Baldwin du type de la figure 413 varie

Digitized by Google

d'environ 50 000 fr. pour une machine à deux moteurs de 100 chev. à 75 000 fr. pour une machine à quatre moteurs de 200 chev., soit entre 250 et 100 fr. par cheval. La première pèse en ordre de marche environ 32 t., dont 7 pour la partie électrique ; la seconde environ 70 t., dont 18 pour la partie électrique, soit 90 kg. par cheval. Ces poids élevés proviennent du lest ajouté.

Un autre type pour lignes secondaires, à deux moteurs de 50 chev., pèse en ordre de marche à peu près 15 t. et coûte environ 26 000 fr.

Tous ces prix s'entendent des appareils emballés et rendus à quai à New-York.

**Locomotives automotrices Heilmann.** — La première locomotive Heilmann, dite la « Fusée », a été essayée en 1893-94 sur les voies de la Compagnie des chemins de fer de l'Ouest, comme on l'a vu plus haut (p. 427). A la suite de ces essais, la Compagnie de Traction Electrique a construit deux locomotives nouvelles (fig. 416 à 423), qui diffèrent notablement des anciennes et doivent leur être supérieures de beaucoup comme puissance [1] et comme disposition générale. Ce sont ces dernières seules que nous décrirons ici, en renvoyant pour la description de la première locomotive aux nombreuses publications auxquelles elle a donné lieu [2] ; nous avons indiqué du reste (p. 427, en note) les principales différences.

Comme nous l'avons dit plus haut, la locomotive Heilmann est composée d'un truck moteur portant sa station génératrice ; l'électricité ne joue que le rôle d'un intermédiaire entre la machine à vapeur et les roues : l'ensemble des dynamos génératrices, des câbles électriques et des moteurs adaptés aux essieux remplace, en définitive, la transmission mécanique réalisée, dans les locomotives ordinaires, par une bielle et une manivelle. Nous décrirons successivement cette locomotive sous ses deux aspects de truck locomoteur et de station génératrice.

[1] La puissance de la première locomotive était seulement de 450 chev. à la vitesse de 100 km : h. et il ne restait au crochet que 200 chev. disponibles.

[2] *La locomotive électrique Heilmann*, Paris, Lemercier, 1894. — *Note de la Cie de l'Ouest*, Congrès des chemins de fer, 1895. — *Les locomotives électriques Heilmann*, par F. Drouin, 1896, etc.

Digitized by Google

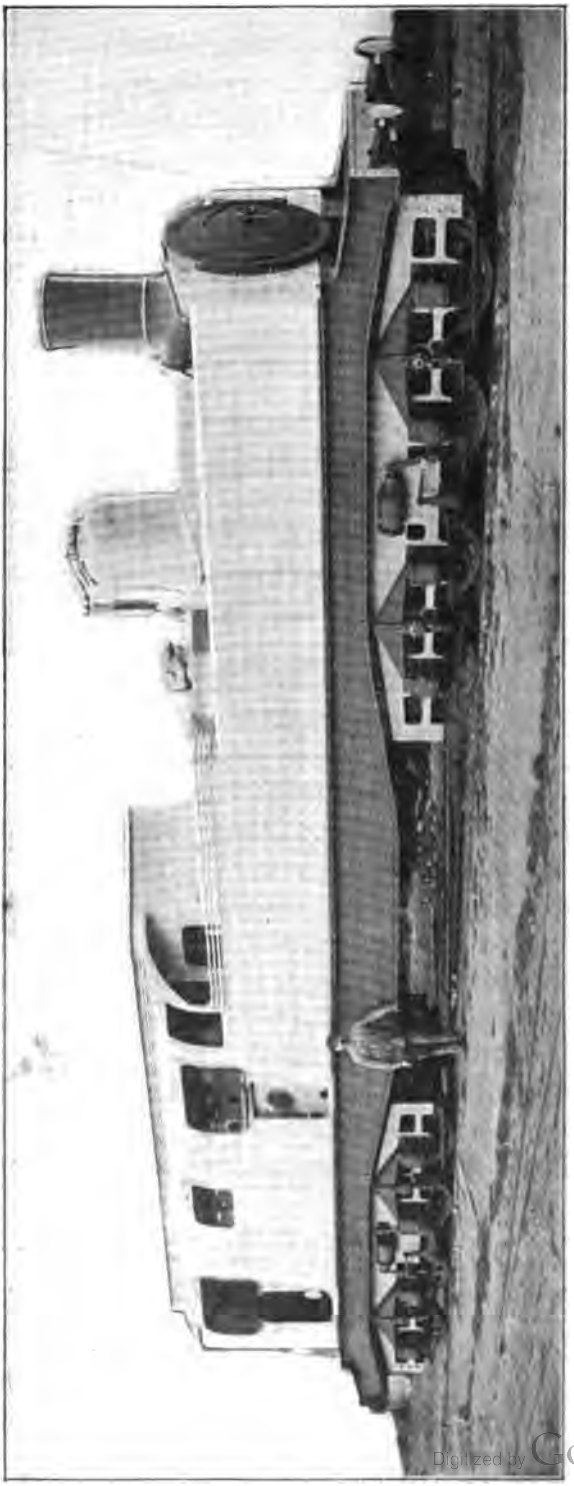
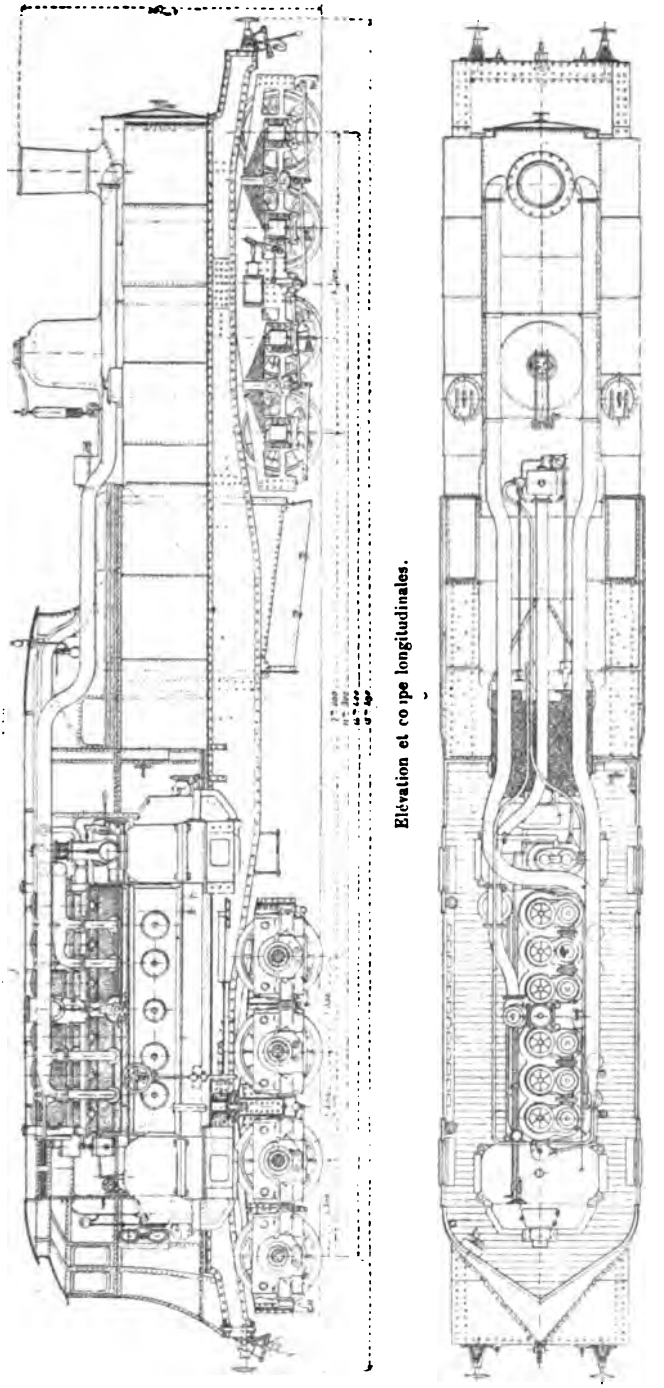


Fig. 416. — Locomotive Heilmann. — Vue générale.

Digitized by Google



Élévation et coupe longitudinales.

Plan.

Fig. 417. — Locomotive Heilmann. — Détails.

Digitized by Google

*Truck moteur.* — Au point de vue du truck moteur, la machine

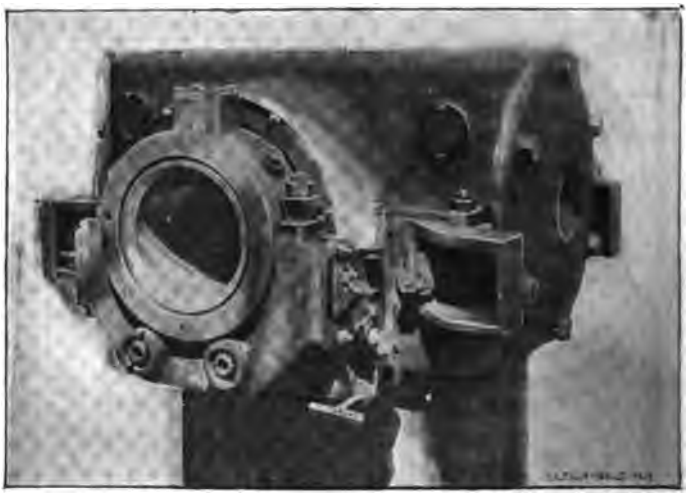


Fig. 418. — Locomotive Heilmann. — Ensemble d'un moteur isolé, complet.

Fig. 419. — Locomotive Heilmann. — Pièces détachées d'un moteur.

Heilmann se rapproche beaucoup des locomotives électriques

Digitized by Google

américaines que nous venons de décrire en dernier lieu. Elle est formée d'un châssis très robuste reposant sur deux bogies à quatre essieux moteurs chacun. Chaque essieu est commandé par un moteur à arbre creux, dont les dispositions rappellent de très près celle des moteurs Edison-Sprague employés sur les locomotives de 30 t. de la Compagnie Thomson-Houston (p. 452). Les figures 418

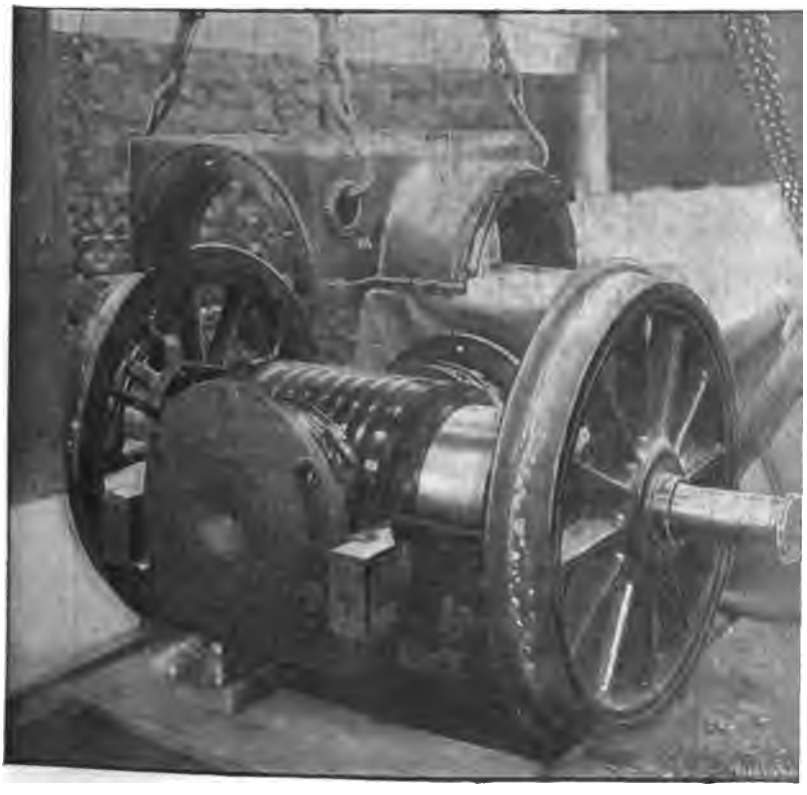


Fig. 420. — Locomotive Heilmann. — Mise en place et montage d'un moteur sur l'essieu.

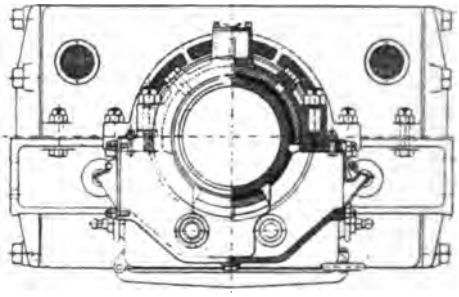
à 421 représentent les détails d'un des moteurs. Ceux-ci sont à quatre pôles, dont deux conséquents, formés de quatre pièces en acier; la pièce inférieure est fixée au bogie par des pattes venues de fonte; la pièce supérieure repose sur celle-ci et il suffit de l'enlever pour visiter l'induit; les deux pièces latérales formant les noyaux des bobines sont boulonnées à la fois sur les deux

Digitized by Google

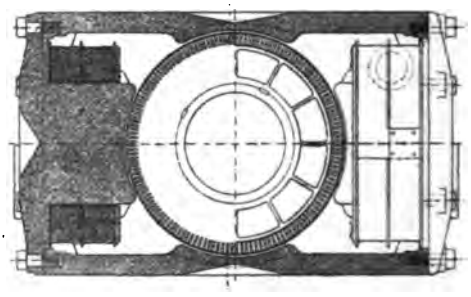
autres. Grâce à cette disposition, il est facile de visiter tout le moteur sans enlever les trains de roues et l'on évite ainsi l'un des reproches adressés aux moteurs gearless ordinaires (p. 139). Les inducteurs sont excités en série.

L'induit est en tambour multipolaire, avec bobinage en série.

Chaque moteur pèse 3 300 kg. et développe une puissance normale de 125 chev., soit 26 kg. par cheval [1], à la vitesse de



Elévation.



Coupe.

Fig. 421. — Locomotive Heilmann. — Détails d'un moteur (échelle 1/20).

100 km. à l'heure, ce qui correspond à un effort de 340 kg. environ à la jante des roues; l'effort de traction total atteint ainsi $8 \times 340 = 2720$ kg. Le diamètre des roues est de 1,16 m. et le couple moteur total de $\frac{2\,720 \times 1{,}16}{2} = 1\,577$ kgm.

L'empattement de chaque bogie est de 4,10 m. Les chevilles

[1] Les nouveaux moteurs présentent, au point de vue de la puissance spécifique, un sérieux progrès par rapport à ceux de la « Fusée » électrique Heilmann, qui pesaient 2 700 kg. pour 450 chev., soit 36 kg. par cheval.

Digitized by Google

ouvrières sont espacées de 11,30 m. et la longueur totale de la locomotive entre tampons atteint 18,59 m.

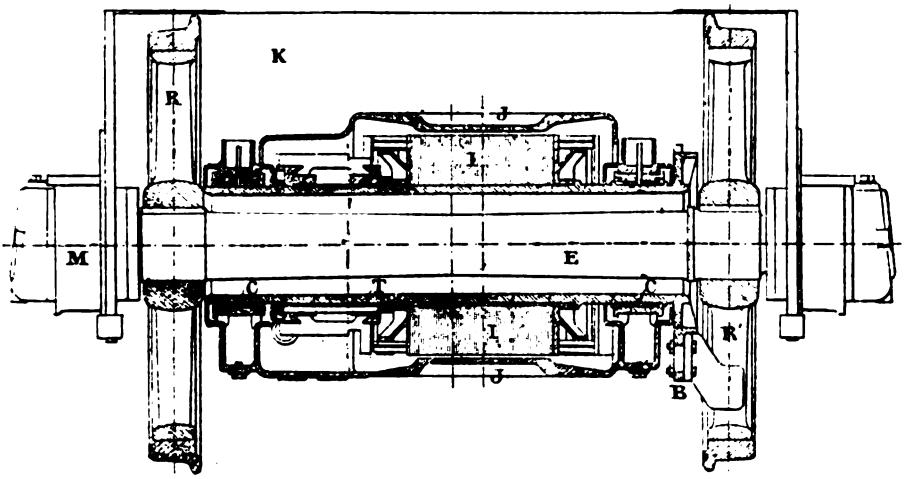



Fig. 422. — Locomotive Heilmann. — Essieu monté et son moteur. Coupe longitudinale (échelle 1/20).

Les bogies sont formés, comme nous l'avons dit (p. 448), de

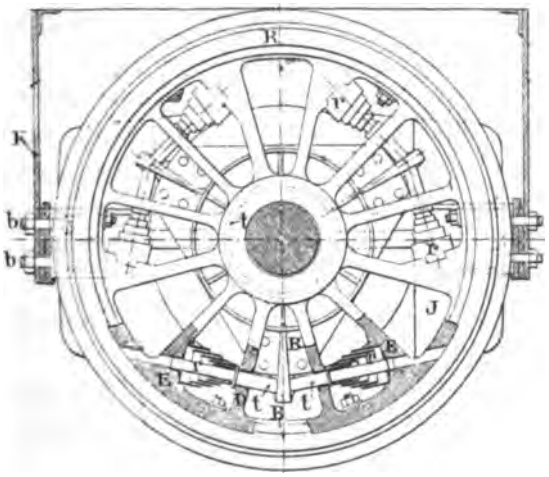



Fig. 423. — Locomotive Heilmann. — Essieu monté. — Vue en bout, montrant l'entraînement de la roue (échelle 1/20.)

deux longerons assemblés par des traverses ; à ces traverses sont fixés directement les bâtis des moteurs, qui contribuent ainsi à entretoiser l'ensemble tout en participant à l'élasticité de la sus-

Digitized by Google

pension ; l'induit est calé sur un arbre creux enfilé sur l'essieu (fig. 420 et 422) et laissant à celui-ci un jeu un peu supérieur au déplacement des boîtes à huile dans les plaques de garde. Le poids total d'un bogie avec ses 4 moteurs est de 24 à 25 tonnes et celui d'un essieu monté de 4 800 kg. avec son moteur.

L'entraînement des roues par l'arbre d'induit est assuré par des croisillons B (fig. 423), dont les extrémités sont serrées entre des tampons *t* fixés entre les rais E de l'une des roues et retenus par des ressorts antagonistes très puissants *r* ; ces ressorts conservent une course suffisante pour permettre les déplacements verticaux de l'essieu, même lorsqu'ils sont comprimés au maximum par le couple moteur.

En définitive, considérée comme appareil moteur électrique, la locomotive Heilmann présente, bien que ses moteurs soient peut-être encore un peu lourds, des dispositions très rationnelles pour une machine à grande vitesse et inspirées par la meilleure pratique américaine. Il sera facile à ses constructeurs d'établir sur le même type des locomotives alimentées par un conducteur parallèle à la voie et capables d'assurer la traction électrique sur n'importe quelle ligne du réseau français ; on en verra plus loin un exemple.

*Machines génératrices.* — Considérée comme usine génératrice, la locomotive Heilmann comprend tous les appareils logés au-dessus du châssis, c'est-à-dire une chaudière, une machine à vapeur actionnant des dynamos génératrices et une petite machine à vapeur auxiliaire commandant une dynamo excitatrice ; la chaudière occupe l'arrière du véhicule et les machines l'avant ; le tout est protégé par un abri de forme effilée pour réduire la résistance de l'air aux grandes vitesses.

Le générateur de vapeur est une chaudière ordinaire de locomotive avec tirage par l'échappement, présentant une grande puissance de production de vapeur. Elle est en acier, fixée en son milieu et reposant par ses deux extrémités sur des supports de dilatation. Elle contient 351 tubes de 3,80 m. de longueur et de 0,045 m. de diamètre extérieur. Elle est timbrée à 14 kg. et présente une surface de chauffe totale de 185,47 m², se décomposant de la manière suivante :

Digitized by Google

| | |
|---|---|
| Foyer . . . . . | 16,47 m². |
| Tubes . . . . . | 169 — |

La surface de grille est de 3,34 m².

Les soutes sont placées à droite et à gauche de la chaudière.

La machine à vapeur, placée suivant l'axe même de la locomotive, est une machine Willans-Robinson verticale, à 6 cylindres, complètement équilibrée et ayant une puissance indiquée de 1 350 chev. L'emploi de ces 6 cylindres pour arriver à l'équilibre exact a été proposé en même temps par M. Robinson, le constructeur, et par M. Mazen, ingénieur de la Compagnie de l'Ouest. M. Normand avait antérieurement démontré que, dans une machine à trois lignes de cylindres agissant sur des manivelles à 120°, la somme des forces verticales est sensiblement nulle à chaque instant[1] si l'on donne même poids aux trois parties mobiles, mais qu'il subsiste un couple; celui-ci disparaît si l'on ajoute une seconde ligne de trois cylindres semblable et disposée de manière à produire un couple égal et inverse[2].

Cet équilibrage parfait est nécessaire pour assurer la stabilité du châssis monté sur ressorts, auquel les efforts et les réactions d'inertie périodiques de la machine impriment des oscillations synchronisées; l'amplitude de celles-ci est d'autant plus grande que la périodicité de ces forces diffère peu, dans le cas considéré, de la durée d'oscillation propre du châssis, considéré comme un système oscillant sous l'action de ses ressorts.

Les constantes principales de cette curieuse machine sont les suivantes :

| | |
|---|---|
| Vitesse normale . . . . . | 400 tours par minute. |
| Course commune . . . . . | 400 mm. |
| Diamètre des cylindres à haute pression . . | 300 — |
| — — basse — . | 480 — |
| Puissance indiquée. . . . . | 1 350 chev. |

[1] La démonstration est intuitive si l'on se rappelle que la somme algébrique de trois fonctions périodiques identiques, mais différant entre elles en phases de 1/3 de période, est toujours nulle.

[2] Pour tous les détails sur cette question, qui sort de notre cadre, nous renvoyons aux deux très intéressantes communications de M. de Grièges fils (*Bulletin de la Société des Ingénieurs Civils*, février 1896) et de M. F. Drouin (*Ibid.*, juin 1896); notre description de la locomotive Heilmann est empruntée, du reste, en partie à ce dernier travail, où l'on pourra trouver des renseignements plus complets sur les machines et dynamos génératrices.

Digitized by Google

La machine à vapeur commande deux dynamos génératrices calées sur les deux extrémités de l'arbre. Ces machines, construites, comme toute la partie électrique, par MM. Brown, Boveri et Cie, sont à 6 pôles, avec inducteurs en acier ; l'induit en tambour, de 1,05 m. de diamètre, est bobiné en parallèle et le courant recueilli par six groupes de balais en charbon. Chaque dynamo peut fournir, sous 450 volts, 1 000 ampères normaux et momentanément 2 000. Les deux machines sont couplées en parallèle. Elles sont excitées par une petite dynamo compound à 4 pôles actionnée par une machine Willans à simple expansion, à deux manivelles à 180°, donnant 28 chev. indiqués à 550 tours. La dynamo, qui fournit 140 ampères $\times$ 115 volts, sert en même temps à l'éclairage du train.

On trouvera au chapitre x l'exposé de la méthode de régulation de marche employée, qui présente un réel intérêt.

Le rendement et la puissance de la locomotive Heilmann ont été évalués comme il suit[1] :

La machine à vapeur a une puissance de 1 350 chev. indiqués. Les rendements prévus à pleine charge sont :

90 p. 100 pour la machine à vapeur,
95 — pour la génératrice,
et 90 — pour les moteurs.

Si l'on admet que la perte dans les câbles est de 2 p. 100, la puissance disponible aux jantes des roues doit être d'environ 1 000 chev. et le rendement total doit avoir pour valeur

$$0{,}90 \times 0{,}95 \times 0{,}98 \times 0{,}90 = 0{,}754 \text{ p. } 100.$$

Ce rapport sera évidemment réduit aux faibles charges, mais beaucoup moins que s'il s'agissait d'une machine génératrice ordinaire, grâce à l'ingénieuse idée qu'a eue M. Heilmann de maintenir l'admission sensiblement constante à toutes charges et de modifier la puissance par la seule variation de la vitesse de la génératrice. C'est le contraire de ce qu'on fait en général lorsqu'on maintient la vitesse constante, en modifiant seulement l'admission. Grâce à cette disposition, M. Heilmann peut conserver à sa machine à vapeur,

[1] Cf. Drouin, *Loco citato.*

Digitized by Google

dans les limites ordinaires de variation de vitesse, un rendement presque uniforme et maintenir à une valeur élevée celui des dynamos et des moteurs, en maintenant la proportionnalité entre les pertes dans le fer et la puissance fournie à la locomotive ; les pertes dans le cuivre peuvent cependant déprimer le rendement aux faibles vitesses de la locomotive, mais cette réduction est peu sensible en marche ordinaire ; elle se fait sentir surtout aux démarrages.

On verra plus loin quel est le rendement au crochet d'attelage.

*Tender moteur Heilmann.* — Pour les trains de marchandises lourds et à vitesse lente, M. Heilmann a trouvé un moyen ingénieux d'utiliser presque sans changement sa locomotive à grande vitesse : il place le tender lui-même sur un truck à quatre moteurs semblable aux bogies de la locomotive et obtient ainsi, avec un ensemble de 12 moteurs, un effort de traction total de

$$12 \times 1 \text{ t.} = 12 \text{ tonnes.}$$

On réalise la vitesse convenable, soit en mettant des groupes de moteurs en série, soit en modifiant les enroulements de ceux-ci. Cette solution constitue une sorte d'intermédiaire entre la locomotive simple et le train entièrement automoteur du même inventeur.

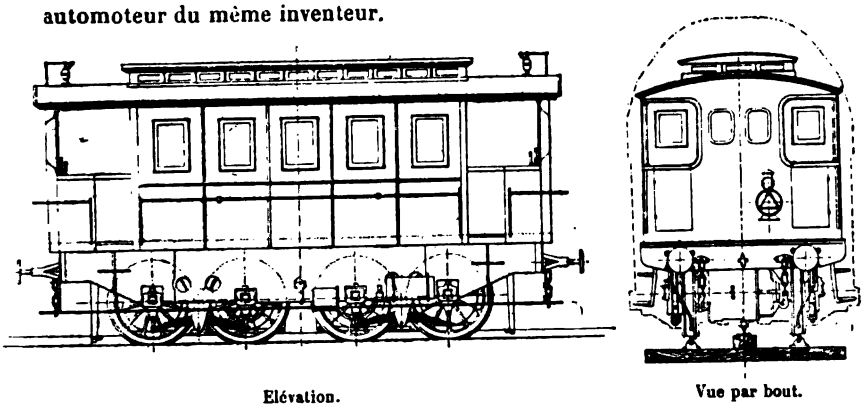



Fig. 424. — Locomotive Heilmann de la ligne de Saint Germain, à alimentation extérieure (échelle 1/100).

**Locomotive Heilmann à alimentation extérieure.** — Comme nous l'avons dit plus haut, les trucks Heilmann peuvent très bien s'appliquer à des locomotives électriques recevant leur courant d'une ligne aérienne ou d'un troisième rail. Un premier exemple de cette application vient d'être fourni par l'inventeur dans ses locomotives de la ligne de Saint-Germain, servant aux essais de traction électrique de la Compagnie de l'Ouest entre Saint-Germain-Ouest et Saint-Germain-Grande-Ceinture (3 500 m. de longueur environ).

Ces machines (fig. 424 et 425) sont formées d'un châssis en tôle d'acier sem-

Digitized by Google

blable à celui décrit ci-dessus et d'une caisse abritant les appareils de manœuvre ainsi qu'un transformateur rotatif placé au centre de la plate-forme dans une cabine disposée à cet effet. Ce transformateur, qui a pour but d'abaisser la tension du courant de la ligne en même temps que de permettre un mode spécial de régulation de la vitesse (qui sera décrit au chapitre x), se compose d'un moteur et d'une génératrice, tous deux avec inducteurs à quatre pôles, montés sur un bâti commun; les induits sont enroulés en tambour et clavetés sur le même arbre.

Les quatre essieux sont actionnés par des moteurs du même type que ceux de la locomotive automotrice et groupés en parallèle.

Deux postes de manœuvre, placés aux deux extrémités de la machine pour permettre de la faire marcher indifféremment dans l'un ou l'autre sens, contiennent chacun un appareil de manœuvre du rhéostat d'excitation de la génératrice du transformateur, ainsi que des organes de commande du frein Westinghouse et du frein à main; les appareils de changement de marche et de mise en série des moteurs, le commutateur de mise en marche du moteur et du transformateur sont placés entre les deux postes sur les parois de la cabine du transformateur.

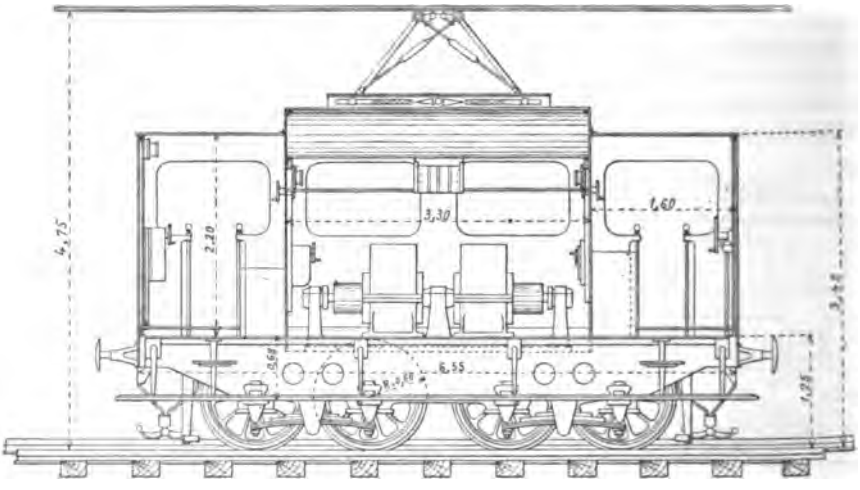



Fig. 425. — Locomotive de la ligne de Saint-Germain. — Coupe longitudinale.

Le courant est transmis à ces locomotives de deux manières différentes :

1° Au moyen d'un troisième rail central et de frotteurs fixés au châssis sur la portion de la ligne comprise entre la Grande-Ceinture et l'usine génératrice ;

2° Au moyen d'un conducteur aérien et d'un trolet entre l'usine et la gare de Saint-Germain-Ouest, dans le but d'éviter les accidents dans cette gare.

Le retour du courant se fait dans les deux cas par les rails de roulement.

**Locomotive électrique automotrice Walkins.** — Bien que la locomotive Heilmann ait été vivement critiquée en Amérique, elle y a cependant trouvé des

Digitized by Google

imitateurs. M. L. E. Walkins, de Boston, en particulier, a établi une locomotive de ce genre pour l'Ohio River, Madison and Central Electric Railroad, qui doit s'étendre de la ville de Madison (Indiana) à Cincinnati (Ohio), sur une longueur d'environ 100 km. Cette locomotive ressemblera à un grand fourgon à bagages muni à l'avant d'une spacieuse cabine de mécanicien. Sous celle-ci se trouvera un bogie à quatre roues de 1,98 m.; le bogie d'arrière sera à six roues de 0,84 m. Le châssis de la locomotive, construit en acier, aura 13,58 m. de longueur; à l'extrémité seront les soutes à charbon et les réservoirs d'eau, au centre sera une chaudière du type locomotive et enfin dans la cabine une machine à vapeur Westinghouse verticale commandant directement 2 dynamos génératrices de 400 chev. chacune. Le bogie d'avant, seul moteur, sera équipé avec 2 moteurs Westinghouse de 350 chev. commandant directement les essieux. La machine est disposée de manière à pouvoir circuler dans des courbes de 100 m. de rayon. Elle sera munie de tous les perfectionnements modernes : économiseur, surchauffeur de vapeur, etc. La cabine contiendra en outre de chaque côté une batterie d'accumulateurs de capacité suffisante pour pouvoir, en cas de besoin, traîner la locomotive jusqu'à une voie de garage et tous les leviers de manœuvre, tableaux de distribution, régulateurs, etc. Le bogie porteur sera lui-même muni comme réserve d'un moteur de 200 chev., dont l'arbre pourra être embrayé en cas de besoin et exceptionnellement avec un train d'engrenages commandant l'un des essieux. Le coefficient de réduction et l'enroulement de ce moteur sont combinés de telle manière que, si on le met en parallèle avec les moteurs du bogie d'avant, il tende à produire la même vitesse; cela permettra de le faire travailler avec les autres au démarrage et sur les fortes rampes.

Des essais ont déjà été faits sur la ligne de Nantasket Beach avec une voiture locomotrice équipée d'après ce système.

Le tableau suivant résume quelques-unes de ses données :

| | | |
|---|---|---|
| Diamètre des roues motrices | 1,98 | m. |
| Diamètre — porteuses | 0,84 | — |
| Longueur totale du châssis | 13,58 | — |
| Poids sur les essieux moteurs | 66 | t. |
| Poids — porteurs | 15,5 | — |
| Poids total | 81,5 | — |
| Pression de la vapeur | 12,7 | kg : cm² |
| Surface de chauffe : tubes | 184 | m² |
| — foyer | 19,5 | — |
| — totale | 173,6 | — |
| Capacité des réservoirs | 18 | m³ |
| — des soutes à charbon | 8 | t. |
| Puissance des génératrices | 800 | chev. |
| — totale des moteurs | 900 | chev. |

Il sera intéressant de connaître les résultats obtenus avec ces machines en service.

Digitized by Google

## § 4. — Comparaison entre les locomotives électriques et les locomotives a vapeur

L'exploitation électrique des lignes de chemins de fer est encore trop peu développée pour qu'on puisse la comparer à l'exploitation par locomotives à vapeur au point de vue économique autrement que par des évaluations fort hypothétiques[1] qui sortiraient des limites de ce chapitre. Cette comparaison ne peut, du reste, être complète qu'en tenant compte de la question capitale de la production et de la distribution du courant, dont l'étude n'entre pas dans le cadre du présent travail.

Mais, dès maintenant, les matériels de traction électrique sont suffisamment connus et suffisamment expérimentés pour permettre d'établir, au point de vue des dispositions techniques, un parallèle entre la locomotive à vapeur et la locomotive (ou la voiture locomotrice) électrique, considérées comme engins de traction. C'est à cette comparaison que nous nous bornerons pour le moment[2].

Ce parallèle peut être fait pour des locomotives de toutes puissances et de toutes vitesses. L'expérience des lignes de Nantasket Beach, Mount Holly, etc., a montré en effet que les dispositifs électriques, d'abord réservés aux trains légers à vitesse moyenne, pouvaient être employés sur une échelle beaucoup plus grande et à des vitesses plus élevées[3]. Les locomotives de Baltimore ont prouvé que les moteurs électriques permettaient de développer des efforts de traction plus considérables que ceux des plus grosses locomotives à marchandises. En définitive, aujourd'hui, on peut atteindre, si on le désire, avec les locomotives électriques, des puissances de 1 000 à 1 500 chev. à la jante des roues et même davantage, tandis que les plus fortes locomotives à vapeur ne développent guère à la jante plus de 900 chev. en palier. On peut donc

[1] Cf. Baxter, *The Electrical Engineer*, 1896 ; Emery, *Am. Inst. of El. Eng.*, octobre 1896; de Marchéna, *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils*, 1896.

[2] Il est donc bien entendu que dans tout ce qui va suivre, lorsque nous dirons que la locomotive électrique n'a pas de mécanisme, nous laissons de côté systématiquement la machine génératrice, qui est indépendante des essieux.

[3] On a atteint jusqu'à 110 km. à l'heure sur la ligne de Nantasket Beach.

Digitized by Google

admettre théoriquement la possibilité de l'emploi des locomotives électriques pour les services de voyageurs et de marchandises[1].

Toutefois, pour ces derniers, l'intérêt de la traction électrique est limité, comme on le verra plus loin, à des cas spéciaux, tels que la traction sur lignes de montagne, qui exige des conditions difficiles à remplir. Pour les services de voyageurs, la traction électrique présente surtout des avantages pour les trains à grande vitesse; c'est donc plus particulièrement ce cas que nous aurons en vue dans ce qui suit.

Nous examinerons séparément, dans l'étude de la puissance et du rendement, le cas des machines alimentées par une ligne de distribution de courant et celui des machines portant avec elles leur source ou leur réservoir d'énergie. Mais, auparavant, comme ces deux types ont en commun le système de truck moteur, nous examinerons les avantages de celui-ci considéré comme un des éléments essentiels de la locomotive électrique.

**Comparaison entre les locomotives à vapeur et électriques au point de vue des dispositions générales.** — Il peut sembler téméraire pour la locomotive électrique, à peine née, de vouloir rivaliser avec l'admirable engin qu'est la locomotive à vapeur actuelle, résultat de l'expérience de tant d'années et des travaux de tant d'ingénieurs et de spécialistes éminents. Cependant, le moteur électrique présente sur le moteur à vapeur des points de supériorité qui justifient, croyons-nous, dans une certaine mesure cette audace. Elle s'appuie, il est vrai, sur des considérations surtout théoriques, dont la pratique réduit fort l'importance, mais qu'il n'est pas néanmoins sans intérêt de signaler ou de rappeler, bien que quelques-unes soient déjà un peu rebattues, notamment la première.

1° Au point de vue mécanique, la supériorité est évidente. Le moteur à vapeur ne donne en effet directement qu'un mouvement alternatif, qui doit être transformé en mouvement de rotation par une bielle et une manivelle; les variations périodiques de vitesse des roues et des organes animés de mouvements alternatifs font apparaître des forces d'inertie qui impriment à la locomotive des mouvements élémentaires nuisibles, d'amplitude croissante avec la vitesse.

[1] Les locomotives à vapeur des nouveaux types permettent cependant de dépasser les chiffres indiqués ci-dessus : par exemple, la locomotive compound Vauclain du Chicago, Milwaukee and St-Paul R.R. peut développer jusqu'à 1 400 chev. indiqués et 1 230 chev. à la jante (en admettant un rendement organique de 0,88); les locomotives compound françaises les plus récentes du P.-L.-M. et du Nord développent jusqu'à 1 300 chev. sur les pistons et 1 140 à la jante; mais ces régimes forcés ne peuvent être soutenus longtemps, tandis que les locomotives électriques du Baltimore and Ohio R.R. seraient capables, d'après M. Lee Parker, de développer d'une façon prolongée 1 500 chev. à la jante.



Digitized by Google

Lorsqu'on atteint la vitesse de 100 km : h., une locomotive à vapeur à roues de 2,50 m. ne fait pas moins de 212 tours par minute et les effets d'inertie, roulis, lacet et tangage, peuvent acquérir une grande intensité.

Les trépidations qu'ils produisent sont, il est vrai, trop rapides pour prendre une grande amplitude, car elles dépassent de beaucoup la période d'oscillation propre du châssis chargé de la chaudière, des cylindres, etc. ; elles ne peuvent donc sérieusement compromettre la stabilité de la machine, qui est soumise à une bien plus rude épreuve par les chocs périodiques dus aux inégalités de la voie. Aussi les ingénieurs de chemins de fer n'attachent-ils que peu d'importance à ces effets, très atténués d'ailleurs dans les machines modernes. Mais, en outre, ces trépidations fatiguent le mécanisme et entraînent des pertes d'énergie supplémentaires[1] qui se traduisent par une augmentation du coefficient brut de traction.

La variation de la composante verticale soumet, d'autre part, les rails à des efforts plus considérables que ceux prévus d'après le poids porté par les essieux : les contre-poids tendent à produire à la descente un véritable effet de martèlement ; de plus, le rapport de l'effort de traction à l'effort adhérent varie pendant un tour dans des proportions suffisantes pour produire des glissements périodiques qui déterminent des plats sur les parties correspondantes de la jante des roues motrices. On aura une idée de la grandeur de ces effets pour une locomotive de médiocre construction par le tracé graphique de la figure 426, qui résume d'intéressantes expériences de M. J. N. Barr. Le tracé pointillé représente, en coordonnées polaires, les efforts sur le bouton de manivelle pendant un tour, et le tracé plein les efforts adhérents correspondants sur la voie ; il arrive même, d'après les expériences de M. Goss[2], que pour certaines vitesses les roues quittent les rails périodiquement.

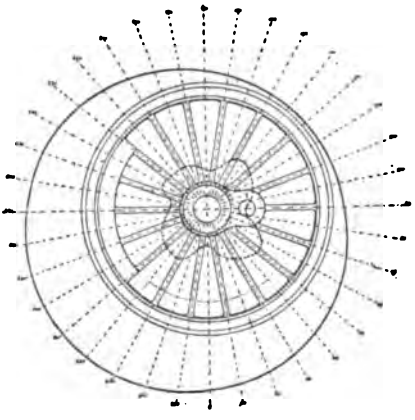


Fig. 426.— Variations de l'effort exercé sur les rails par les roues motrices d'une locomotive à vapeur, d'après M. J. N. Barr.

On est donc en droit de considérer la locomotive à vapeur, malgré sa grande perfection *pratique*, comme un appareil *théoriquement* imparfait au point de vue de la transmission de l'effort moteur aux roues.

Les moteurs électriques, au contraire, donnent un simple mouvement de rotation uniforme qu'on peut transmettre aux essieux, soit directement, soit par engrenages ; le moment du couple moteur étant rigoureusement constant pendant chaque tour, il n'y a pas d'effets d'inertie ; les rails sont donc soumis

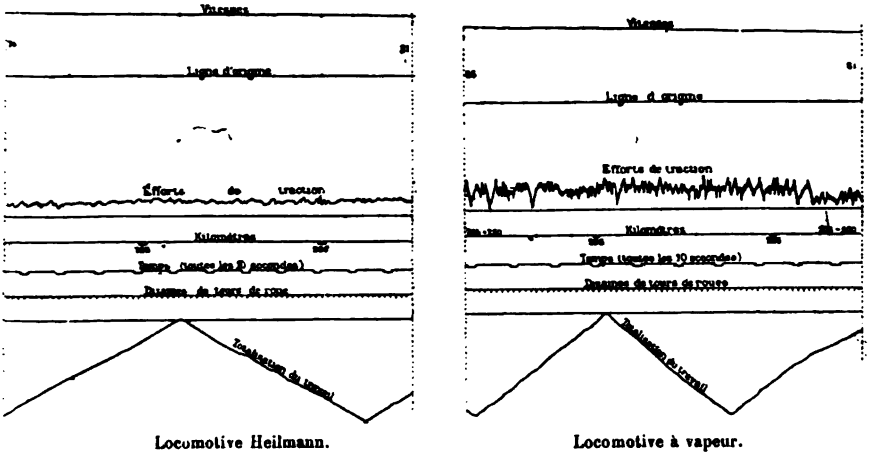
[1] Ces pertes sont naturellement occasionnées surtout par la composante verticale des trépidations.

[2] *American Society of Mechanical Engineers*, décembre 1896.

Digitized by Google

à un effort tangentiel constant, qui permet d'utiliser à chaque instant toute l'adhérence et de rendre ainsi l'adhérence moyenne égale à l'adhérence maxima ; l'usure des bandages des roues se trouve réduite ; enfin tout mouvement de lacet est supprimé[1].

Cette différence entre la machine électrique et la machine à vapeur est bien mise en évidence par les tracés relevés au dynamomètre par la Compagnie




Locomotive Heilmann. Locomotive à vapeur.

Fig. 427 et 427 *bis*. — Tracés dynamométriques obtenus avec la locomotive Heilmann et avec une locomotive à vapeur.

de l'Ouest (fig. 427 et 427 *bis*) : celui qui correspond à la locomotive à vapeur présente des zigzags très marqués, correspondant aux variations oscillatoires de l'effort longitudinal; celui relevé sur la locomotive Heilmann ne présente, au contraire, que de faibles ondulations dues aux irrégularités de la voie. Les partisans les plus convaincus de la locomotive à vapeur auraient tort de ne pas reconnaître de bonne grâce qu'il y a là une supériorité au moins théorique en faveur de la locomotive électrique, fût-elle sans grande conséquence pratique.

2° A cet avantage spécial des locomotives électriques il faut en ajouter d'autres certainement importants, résultant du fait que les moteurs peuvent être placés à proximité des essieux et logés dans le truck lui-même : c'est d'abord la possibilité de supprimer toute liaison entre les essieux et le châssis, et, par suite, de faire reposer celui-ci *entièrement sur bogies*, ce qui permet d'étendre le châssis et, d'autre part, donne à la locomotive une extrême *souplesse*, irréalisable avec la locomotive ordinaire à deux paires de roues couplées et a fortiori avec les locomotives à marchandises ou mixtes; c'est, en second lieu, l'obtention aisée de l'*adhérence totale*, grâce à la possibilité d'appliquer un moteur à chaque essieu.

Ces derniers avantages ne sont pas absolument le privilège de la locomotive

[1] Cf. Rapport de M. Mazen à la Cie de l'Ouest sur la locomotive Heilmann, 9 février 1895. Cette supériorité de la traction électrique, signalée par un ingénieur du service de la traction d'une grande Cie de chemins de fer, est admise aussi par d'autres spécialistes également distingués, tels que MM. Deharme et Pulin (*Matériel roulant*, p. 296),

Digitized by Google

électrique, car presque toutes les locomotives à grande vitesse sont construites aujourd'hui avec un bogie porteur à l'avant, qui leur donne une souplesse en général suffisante; d'autre part, on a pu, sans réduire cette souplesse, rendre moteurs tous les essieux par l'emploi du dispositif compound de M. Mallet type de la locomotive du Saint-Gothard [1]). Enfin l'emploi de quatre cylindres sur les locomotives compound d'express du type le plus employé en France permet de diviser la puissance motrice entre deux essieux et d'équilibrer dans une certaine mesure les efforts moteurs et les forces d'inertie.

Mais ces avantages peuvent être poussés plus loin et obtenus plus simplement dans la locomotive électrique que dans la locomotive à vapeur telle qu'on la construit actuellement. On peut en outre se dispenser plus aisément des bielles d'accouplement, qui, dans les courbes de faible rayon, sont sujettes à des efforts souvent excessifs, et, en tout cas, diminuent la souplesse de la machine.

La locomotive électrique présente, à ce point de vue, des dispositions particulièrement favorables pour la traction sur les voies de montagne, où les courbes sont fréquentes et à faible rayon, et où l'on a besoin d'une forte adhérence.

Sur les lignes ordinaires, l'adhérence réalisée par les locomotives à vapeur, bien que beaucoup plus faible [2], est bien suffisante, en général, et c'est la *puissance de la chaudière* seule et non l'insuffisance d'adhérence qui limite les rampes; aussi voit-on employer en Angleterre, sur certaines lignes, pour les trains de voyageurs à grande vitesse, des locomotives à un seul essieu moteur dont le poids adhérent n'atteint pas 20 tonnes [3]. Quant aux courbes, elles sont d'assez grand rayon sur ces lignes pour que la souplesse obtenue à l'aide d'un seul bogie soit suffisante.

L'emploi des bogies est cependant avantageux à d'autres points de vue : en laissant un grand espace disponible au-dessus du châssis, il permet d'y loger, soit une grande caisse, soit, dans le cas particulier de la locomotive Heilmann, une plus puissante chaudière; en outre, il semble assurer, comme nous allons le voir, un meilleur coefficient de traction.

3° Ainsi que cela est naturel, la locomotive électrique présente, déduction faite de la résistance de l'air, un coefficient de traction comparable à celui des automobiles ou des voitures ordinaires de chemins de fer, suivant qu'elle est à engrenages ou à commande directe. Dans ce dernier cas, le travail néces-

[1] Cette machine, mise en service en 1891, est à six essieux couplés; elle présente en ordre de marche un poids adhérent de 85 t. Elle développe un effort pratique de traction à la jante de 10 000 kg. environ et un effort maximum théorique de 14 500 kg. Si l'on compare ces chiffres à ceux d'une locomotive électrique à marchandises, celle du Baltimore and Ohio R. R., qui présente un poids adhérent de 85 t. et un effort maximum de 18 000 kg., réduit par l'adhérence (1/7) à la valeur pratique de 13 000 kg., on voit que la locomotive électrique, considérée indépendamment de la production du courant, reste un engin supérieur, même pour ce service particulièrement difficile.

[2] D'après le tableau de la page 490, on voit que le poids adhérent des meilleures locomotives est une petite fraction (1/2 à 1/3) de leur poids total. Par exemple, la locomotive compound du Nord, type primitif, qui pèse 83 t., a 30 t. seulement de poids adhérent en ordre de marche.

[3] Par exemple, les locomotives du Great Western et du North Eastern, à roues indépendantes, dont le poids adhérent n'est que de 18 t.

Digitized by Google

saire pour la remorquer est de beaucoup inférieur à celui qu'exige une locomotive à vapeur de même poids, par suite de l'importance des frottements du mécanisme dans celle-ci et de la compression de l'air appelé dans les cylindres. Ce travail dépasse 3 kg. par tonne à 80 km : h. [1], lorsque la machine descend une pente en vertu de la gravité, à régulateur fermé, et ne permet pas à la locomotive à vapeur de descendre par gravité des pentes que la locomotive électrique sans engrenages descend aisément. Par exemple, la locomotive Heilmann descendait avec son train des pentes de 8 mm. par mètre à des vitesses de plus de 100 km : h. à régulateur fermé.

D'autre part, M. Mazen a trouvé dans ses mesures exécutées sur la locomotive Heilmann un coefficient de traction total de 7,5 kg. par tonne à la vitesse de 100 km : h., tandis que les locomotives à vapeur atteignent à la même vitesse jusqu'à 14 kg. à régulateur fermé [2]. La différence de 6,5 kg. ainsi mise en évidence peut provenir pour une petite part des formes plus effilées à l'avant de la locomotive Heilmann; mais elle est due pour beaucoup aux frottements du mécanisme et notamment au travail de compression de l'air dans les cylindres de la locomotive à vapeur et serait par conséquent réduite à 3 ou 4 kg. dans la marche normale à régulateur ouvert; en effet, dans ce cas, il faut retrancher tout ce qui est relatif au frottement du mécanisme, lequel doit être compté dans le rendement du moteur. En tenant compte de cette correction, la différence n'est plus bien grande, et l'on ne peut attribuer qu'une faible partie de la diminution de résistance à la réduction des pertes d'énergie occasionnées par les trépidations du mécanisme, par le mouvement de lacet [3] et par les chocs que subit la machine au passage des inégalités de la voie. Les bogies de la machine Heilmann, avec leurs quatre essieux rapprochés, peuvent passer sur ces inégalités sans subir de dénivellation sensible, tandis que les essieux plus chargés et plus écartés des locomotives ordinaires descendent au passage de chaque dépression [4]. En admettant même que deux des essieux du bogie s'abaissent, le pivot de celui-ci ne descendra que d'une quantité plus faible.

Cette diminution des chocs, en même temps qu'elle réduit le travail nécessaire pour la traction, peut entraîner une certaine diminution des oscillations de la machine et de la fatigue de la voie; mais les ingénieurs de chemins de fer ne semblent pas jusqu'ici y attacher beaucoup d'importance pratique.

Il faut ajouter que le poids non suspendu appliqué aux essieux moteurs est beaucoup plus faible dans une locomotive électrique que dans une locomotive à vapeur : par exemple, dans la locomotive Heilmann, où le poids supporté par chaque essieu atteint 15 tonnes, le poids non suspendu n'est que de 1 500 kg., au lieu de 3 tonnes dans certaines locomotives à vapeur.

4° Une autre différence qui résulte de l'emploi des moteurs électriques

[1] Cf. Desdouits, *Revue générale des chemins de fer*.

Nous ne parlons pas ici du mécanisme de la station centrale, pour le motif indiqué plus haut.

[2] Rapport déjà cité de M. Mazen, auquel appartient la responsabilité de ces chiffres.

[3] Cf. Deharme et Pulin, *loc. cit.*, p. 62.

[4] Il y aurait là un effet plus ou moins analogue à la réduction importante du frottement de roulement sur route obtenue pour les voitures par la substitution d'un bandage déformable (pneumatique) au bandage ordinaire rigide des roues.

Digitized by Google

c'est la possibilité d'employer des roues beaucoup plus petites que celles des locomotives à vapeur : comme nous l'avons dit, les diamètres de 1,00 à 1,30 m. sont des maxima sur les locomotives électriques ; il en résulte qu'on peut abaisser davantage le centre de gravité de la machine et réaliser ainsi une résistance plus grande au renversement.

Mais, en pratique, cet avantage, qu'on invoque souvent en faveur de la locomotive électrique, est plus apparent que réel ; car la locomotive à vapeur présente aujourd'hui une stabilité surabondante, qui a permis dans les locomotives américaines de surélever sans inconvénient le corps cylindrique au-dessus des roues. De l'avis de spécialistes très compétents[1], l'emploi des grandes roues présente même de sérieux avantages : une douceur plus grande au passage dans les courbes et une moindre tendance au ripement de la voie ; l'effort de renversement transmis au rail extérieur se rapproche en effet davantage de la verticale, les oscillations du châssis sous l'effet des ressorts sont plus longues et le roulement est plus doux.

La véritable amélioration de stabilité que peuvent offrir les locomotives électriques proviendra plutôt de la réduction des chocs auxquels nous venons de faire allusion ; elle peut être assez importante.

5° Une dernière propriété spéciale à la locomotive électrique, qu'elle soit alimentée par une ligne aérienne ou par une source d'énergie qu'elle transporte, c'est l'indépendance absolue qui existe entre sa vitesse de marche et la vitesse de rotation des machines génératrices.

Le nombre de coups de piston d'une locomotive à vapeur est proportionnel à la vitesse de marche ; sur les rampes, où l'on est forcé de ralentir pour ne pas dépenser plus de vapeur que n'en produit la chaudière, le nombre de coups de piston diminue, tandis qu'on a besoin, au contraire, d'augmenter le travail par unité de temps. C'est là une circonstance très défavorable, à deux points de vue : d'une part, elle force à accroître beaucoup le travail réalisable par coup de piston, et par suite à augmenter les dimensions du cylindre ; d'autre part, les variations de puissance ne peuvent être obtenues qu'en faisant varier la détente dans de très grandes limites, d'où résulte un abaissement du rendement moyen.

Avec la locomotive électrique, il en est tout autrement : on peut maintenir la vitesse des machines génératrices constante, ce qui réduit la variation de travail par coup de piston à être simplement proportionnelle à la puissance dépensée ; on peut même aller plus loin et rendre, comme l'a fait M. Heilmann, le travail par coup de piston sensiblement constant, en maintenant la détente la plus économique et faisant varier la vitesse des génératrices proportionnellement à la puissance nécessaire. La possibilité de ces deux méthodes résulte de l'extrême *souplesse des transmissions électriques comparées aux transmissions mécaniques.*

On pourrait, il est vrai, réaliser des locomotives à vapeur ayant un mode de transmission autre que le mode actuel, en plaçant, par exemple, sur le châssis une machine à vapeur équilibrée analogue à celle de la locomotive

[1] Cf. Rapport sur les locomotives à grande vitesse, par M. J. A. R. Aspinall, *Congrès des chemins de fer*, Londres, 1895, et M. M. Demoulin, *Bulletin du Congrès des chemins de fer*, 1896.

Digitized by Google

Heilmann et actionnant les essieux moteurs par des engrenages à réduction variable. Mais ce serait au prix d'une plus grande complication des organes d'un appareil dont la simplicité constitue l'une des plus grandes qualités et d'une révolution complète dans le mode de construction actuel; le mécanisme ne résisterait pas aux chocs; enfin, il serait à peu près impossible de rendre moteurs par ce moyen les essieux du bogie d'avant. On peut donc considérer que les avantages que nous venons de signaler sont bien la conséquence directe de la transmission électrique de l'effort moteur aux essieux.

Les avantages des locomotives électriques considérées comme matériel roulant sont, en résumé, les suivants, par ordre d'importance :

Coefficient de traction comparable à celui d'une voiture ordinaire mise en tête d'un train, grâce à la suppression des résistances spéciales de la marche à régulateur fermé[1];

Absence de réactions oscillatoires provenant du mécanisme moteur;

Souplesse extrême du véhicule résultant de la suspension sur bogies;

Indépendance complète entre la vitesse de marche et la vitesse de la machine génératrice;

Adhérence totale;

Accessoirement, possibilité d'exagérer autant qu'on le veut la résistance au renversement.

**Poids, puissance et rendement des locomotives électriques à alimentation extérieure.** — Il nous reste maintenant à examiner les locomotives électriques au point de vue de leur poids, de leur puissance et de leur rendement, et à partir d'ici, il nous faut distinguer deux cas, suivant la façon dont elles reçoivent l'énergie.

La locomotive à prise de courant extérieure n'a besoin d'aucun approvisionnement de combustible ni d'eau. Par suite, son poids peut être réduit au minimum nécessaire à l'adhérence. La caisse pouvant être utilisée pour une charge utile, la machine présente un poids mort réduit théoriquement à celui des moteurs seuls, c'est-à-dire extrêmement faible.

[1] Abstraction faite toujours du rendement de l'usine génératrice, qui entre dans le rendement total du système de traction, mais non dans le coefficient de traction de la machine au sens exact de ce terme.

Digitized by Google

A ce point de vue[1], la locomotive à vapeur ne peut lutter contre la locomotive électrique, bien qu'on ait fort accru sa puissance spécifique en augmentant la pression de la vapeur, la surface de chauffe et la surface de grille, la puissance de vaporisation (par le tirage artificiel), l'utilisation de la vapeur (par le système compound) et la puissance sur les rampes (par la surchauffe préalable de l'eau).

Le tableau de la page 490 indique quels étaient, en 1895, les types les plus puissants de locomotives employés sur divers réseaux français et étrangers; bien qu'un peu ancien déjà, il nous a paru intéressant à reproduire ici, parce qu'il contient des données ramenées à une même base de comparaison. Mais de nouveaux progrès ont été réalisés depuis cette époque; en particulier, les Compagnies françaises du Midi, du P.-L.-M., du Nord, etc., ont construit des types plus perfectionnés et plus puissants. La nouvelle machine compound du Nord français, par exemple, présente les caractéristiques suivantes, qui donnent une idée des résultats obtenus :

| | | |
|---|---|---|
| Surface de grille. . . . . | 2,30 | m² |
| — de chauffe totale. . . . . | 175,58 | — |
| Volume des cylindres . . . . . | 397 | dm³ |
| Pression dans la chaudière par cm². . . . . | 15 | kg. |
| Effort de traction à la jante à 100 km : h . . | 3 080 | — |
| Puissance maxima indiquée à 100 km : h. . | 1 300 | chev. |
| Rapport du travail au crochet du tender disponible à 100 km : h. au travail indiqué. . | 0,50 | |
| Puissance disponible au crochet. . . . . | 650 | chev. |
| Effort de traction correspondant . . . . . | 1 820 | kg. |
| Poids de la machine seule à vide . . . . . | 46 200 | — |
| — — en ordre de marche . . | 50 140 | — |
| Poids du tender à vide . . . . . | 20 140 | — |
| — — pleiu . . . . . | 41 040 | — |

On voit que les locomotives à vapeur à grande vitesse des derniers modèles pèsent 45 à 55 t. en ordre de marche, à quoi il faut ajouter pour le tender et ses approvisionnements moyens 25 à 35 t., soit en tout 70 à 90 t., pour une puissance indiquée qui peut atteindre 1 000 à 1 300 chev., ce qui fait 70 à 90 kg. par

[1] Pour la discussion qui suit, on pourra utilement se reporter aux indications données plus loin sur l'adhérence et l'influence du poids mort dans la traction (t. II. chap. XIII, § 2.)

Digitized by Google

cheval indiqué[1] et 80 à 110 kg. par cheval utile à la jante des roues dans la marche en palier; tandis que les moteurs d'une locomotrice électrique capable d'effectuer le même travail utile en traînant un train dont elle fait partie elle-même (puisqu'elle sert de véhicule) peuvent ne pas peser plus de 20 à 25 kg. par cheval et qu'une locomotive électrique complète, non lestée, peut ne pas peser plus de 50 à 60 kg. par cheval à la jante des roues. Les poids des locomotives décrites ci-dessus dépassent souvent 100 kg. par cheval, mais c'est parce qu'on a cherché, par l'emploi de châssis très lourds et lestés après coup, à réaliser de grands efforts adhérents.

Il est à remarquer, en effet, que l'effort maximum de traction à la jante des roues des locomotives électriques est très élevé relativement à leur poids. Par exemple, pour les locomotives de la General Electric Co. de 30 à 90 tonnes (p. 452 et 453) cet effort varie entre 0,16 et 0,20 du poids total de la locomotive, au lieu que pour les locomotives à vapeur il varie seulement entre 0,07 et 0,08 du poids total en ordre de marche[2].

Les locomotives de 90 tonnes du Baltimore and Ohio R.R. développent pour la traction des trains de marchandises un effort normal à la jante des roues de 18 000 kg., soit 1/5 de leur poids ; au démarrage, on a même pu atteindre 27 000 kg., soit 1/3,3 du poids total, tandis que les locomotives de marchandises à vapeur ne donnent guère plus de 1/6 de leur poids total.

Pour les locomotives des mines, la différence est de même ordre : par exemple, la locomotive de 200 chev. de la Cie Westinghouse décrite plus loin (p. 538) et qui pèse 110 kg. par cheval donne un effort maximum égal au 1/4 de son poids, tandis que les locomotives à vapeur équivalentes ne donnent que 1/8 à 1/6.

Le lest est nécessaire si l'on veut tirer complètement parti de cet effort sans risquer le patinage.

Mais, pour des machines à voyageurs, l'emploi de ce lest nous paraît être une erreur; les locomotives électriques que nous avons

[1] En réduisant les dimensions du tender et en prenant de l'eau en cours de route, on peut descendre à 65 kg. par cheval (Cf. Du Bousquet, *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils*, 1896).

[2] Nous parlons de l'effort maximum au démarrage; en marche, l'effort maximum n'atteint que 0,05 à 0,06 du poids total.

Digitized by Google

## DONNÉES DE QUELQUES TYPES MODERN

| TYPE de LOCOMOTIVE | SURFACE de grille. | SURFACE de chauffe totale. | VOLUME des cylindres en dm³. | PRESSION dans la chaudière par cm². | Machine seule à vide. | Machi en ordr de marc |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1° *A 4 roues couplées :* | | | | | | |
| État français . . . . . | 1,90 | 121,57 | 197 | 13,0 | 43000 | 4700 |
| Paris-Lyon-Méditerranée. . | 2,24 | 141,53 | 243 | 11,0 | 46330 | 4968 |
| Paris-Orléans. . . . . | 2,25 | 154,24 | 213 | 13,0 | 47000 | 5200 |
| Ouest français . . . . . | 1,78 | 121,70 | 219 | 11,0 | 39200 | 4410 |
| Est français . . . . . | 2,42 | 168,29 | 229 | 12,0 | 46937 | 5670 |
| Midi français. . . . . | » | » | 174 | 12,0 | 41100 | 4490 |
| État belge . . . . . | 4,71 | 124,67 | 235 | 10,2 | 45500 | 4925 |
| Gothard (Suisse) . . . . . | 1,62 | 107,30 | 161 | 12,4 | 42950 | 5470 |
| Etat austro-hongrois . . . | 2,30 | 131,80 | 216 | 10,0 | 44200 | 4900 |
| London and South Western. | 1,67 | 127,07 | 241 | 12,3 | 46065 | 4945 |
| North Eastern . . . . . | 1,82 | 124,58 | 241 | 11,25 | 47577 | 5202 |
| New York Central and Hudson River. . . . . | 2,85 | 179,33 | 223 | 13,35 | » | 5625 |
| New York Central and Hudson River. . . . . | 2,54 | 169,21 | 223 | 11,95 | » | 5443 |
| Baltimore and Ohio. . . . | 2,33 | 156,76 | 247 | 11,60 | » | 5192 |
| Pennsylvania. . . . . | 2,00 | 147,00 | 223 | 13,30 | 50486 | 5561 |
| 2° *Compound :* | | | | | | |
| Central of New Jersey. . . | 3,57 | 158,94 | 403 | 12,650 | 48426 | 5477 |
| Paris-Lyon-Méditerranée. . | 2,32 | 147,80 | 396 | 15,000 | 44660 | 4790 |
| Nord français, type primitif. | 2,00 | 155,27 | 397 | 14,000 | 44840 | 4845 |
| Midi français. . . . . | 2,00 | 155,27 | 397 | 14,000 | 45900 | 5000 |
| London and North Western. | 1,90 | 139,80 | 417 | 12,000 | 47856 | 52[illegible] |
| North Eastern . . . . . | 1,82 | 124,58 | 396 | 14,060 | 49202 | 52[illegible] |
| Philadelphia and Reading. | 7,06 | 133,31 | 403 | 12,600 | 51347 | 5[illegible] |
| « Columbia » . . . . . | 2,28 | 137,30 | 437 | 12,600 | » | 5[illegible] |
| Baltimore and Ohio. . . . | 2,29 | 157,28 | 439 | 12,600 | 48843 | 5[illegible] |

[1] D'après le rapport de M. J. A. R. Aspinall au *Congrès des Chemins de fer*, Londres, 1895.

Digitized by Google

## LOCOMOTIVES A VOYAGEURS[1]

| POIDS | | | POIDS total adhérent sur les roues. | EFFORT de traction maximum en kg. | PUISSANCE en chevaux à la vitesse de 24 km : h. | POIDS PAR CHEVAL à la vitesse de 24 km : h. | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Tender à vide. | Tender en ordre de marche. | total en ordre de marche. | | | | Machine seule à vide. | total en ordre de marche. |
| 11300 | 23300 | 70300 | 28900 | 5650 | 498 | 94,3 | 141,2 |
| 17500 | 36600 | 86280 | 30540 | 5947 | 524 | 94,8 | 164,7 |
| 16350 | 33650 | 85650 | 29940 | 5720 | 504 | 103,1 | 169,9 |
| 11900 | 26000 | 70100 | 37500 | 5245 | 464 | 95,0 | 149,1 |
| 17887 | 42843 | 99609 | 33400 | 5833 | 514 | 110,4 | 194,8 |
| 15400 | 29700 | 74500 | 32000 | 4624 | 408 | 109,8 | 182,6 |
| 17350 | 34850 | 84100 | 26400 | 5165 | 455 | 108,2 | 184,8 |
| » | » | 54760 | 31200 | 4753 | 419 | 130,6 | 130,6 |
| 12050 | 24900 | 74300 | 26700 | 4573 | 403 | 122,6 | 184,3 |
| 18949 | 36001 | 85457 | 30800 | 6136 | 541 | 91,4 | 157,9 |
| 19610 | 41750 | 93772 | 34700 | 5610 | 494 | 105,3 | 189,8 |
| 16606 | 36288 | 92534 | 38100 | 6078 | 536 | 104,9 | 172,6 |
| 16606 | 36288 | 90720 | 36300 | 5996 | 529 | 103,0 | 171,5 |
| 16556 | 35226 | 87163 | 34900 | 6448 | 568 | 91,4 | 153,5 |
| 13517 | 31616 | 87227 | 37500 | 6349 | 559 | 102,8 | 174,2 |
| » | » | 54776 | 38000 | 5944 | 525 | 104,3 | 172,1 |
| 17500 | 36600 | 84510 | 30100 | 7498 | 661 | 72,5 | 127,9 |
| 16000 | 35100 | 83720 | 30500 | 6832 | 602 | 80,7 | 139,1 |
| 15000 | 33000 | 83000 | 31600 | 6781 | 597 | 83,7 | 139,5 |
| 13412 | 27027 | 79963 | 31500 | 7060 | 623 | 85,0 | 128,4 |
| 19610 | 41760 | 93984 | 34360 | 7770 | 685 | 76,2 | 137,2 |
| 15331 | 36548 | 93202 | 35381 | 5994 | 525 | 108,0 | 177,5 |
| » | 35599 | 94113 | 36606 | 5962 | 526 | 111,2 | 178,9 |
| 15422 | 32695 | 88388 | 35599 | 6411 | 565 | 98,6 | 156,4 |

Digitized by Google

citées plus haut seraient inutilement lourdes pour un service d'express où l'adhérence n'exige pas des poids aussi élevés. Sur le tableau de la p. 490, on voit en effet que les locomotives à vapeur à grande vitesse présentent un effort de traction maximum de 5 à 7000 kg., et l'expérience a démontré que cet effort, qui est environ le triple de l'effort normal, suffit pour un bon démarrage ; en admettant un coefficient d'adhérence de 1/5, un poids adhérent de 25 à 35 tonnes est suffisant : ce sont les chiffres réalisés par les machines actuelles à deux roues couplées, qui donnent 700 à 800 chev. à la jante des roues. Une locomotive électrique à voyageurs de 800 chev. n'a donc pas besoin de peser plus de 30 à 40 t., soit 40 à 50 kg. par cheval, ce qui est presque réalisable si l'on réduit le poids du châssis à 25 ou 35 kg. par cheval, comme sur les locomotives à vapeur. Par exemple, le truck moteur de 500 chev. de la locomotive Heilmann de la ligne de Saint-Germain ne pèse que 25 t., bien que les moteurs soient relativement lourds. La locomotive du Baltimore and Ohio R. R., si on la faisait marcher à la vitesse de 100 km : h. par un simple accroissement du voltage de distribution, développerait aisément une puissance de 3 000 chevaux; elle ne pèserait ainsi que 30 kg. par cheval.

Il résulte de ces chiffres une notable supériorité possible du *rendement* de la traction électrique sur celui de la traction à vapeur.

Rappelons d'abord qu'on distingue trois espèces de rendement :

Le rendement de la locomotive en tant que moteur, rapport du travail développé à la jante des roues à la dépense d'énergie sous forme de calories ou d'énergie électrique;

Le rendement de la traction, rapport du travail disponible au crochet au travail développé à la jante ;

Enfin le rendement net de la locomotive, rapport du travail développé au crochet à l'énergie dépensée. Ce dernier est le produit des deux précédents, qu'on peut, par suite, étudier seuls.

1° Les locomotives compound modernes à voyageurs réalisent des rendements organiques maxima de 0,85 à 0,88, peu différents de ceux que donnent les très puissants moteurs électriques à engrenages. Mais les gros moteurs gearless peuvent présenter une supériorité notable, car, sous une puissance de 100 chev., ils donnent aujourd'hui aisément 0,92 de rendement maximum.

Il ne faut pas oublier, d'autre part, que toute locomotive à vapeur n'a un bon rendement propre que dans des limites assez étroites de vitesse et de détente.

Les figures 428 et 429, qui résument de belles expériences de M. Desdouits

Digitized by Google

sur une locomotive à voyageurs ordinaire[1], montrent bien que l'effort moteur pour une admission donnée va en augmentant avec la vitesse jusqu'à un maximum[2], puis décroît rapidement par suite de la contre-pression croissante que produit le retard à l'échappement ; le rendement organique évalué en kgm. par kg. de vapeur va également en croissant jusqu'à un maximum, qui, dans

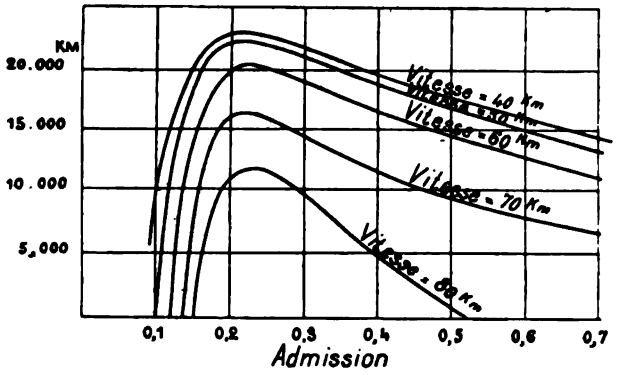



Fig. 428. — Variation du rendement, en kilogrammètres par kg. de vapeur, d'une locomotive à vapeur en fonction de l'admission.

le cas considéré, correspond à l'admission de 20 p. 100 ; toute admission plus faible ou plus forte donne une perte considérable au point de vue économique ; cette perte est surtout marquée aux grandes vitesses.

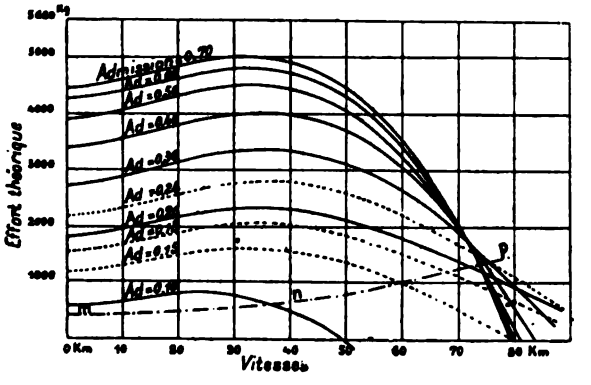



Fig. 429. — Variation de l'effort de traction d'une locomotive à vapeur en fonction de la vitesse et de la détente.

Au contraire, les moteurs électriques peuvent permettre une utilisation économique de l'énergie sous des charges extrêmement variables et à des vitesses fort différentes. Sur une locomotive électrique à grande puissance, le rende-

[1] Cf. Desdouits, Expériences exécutées aux chemins de fer de l'État, *Revue générale des chemins de fer*, mai 1890.

[2] Celui-ci dépend naturellement du type de machine, ainsi que la vitesse correspondante.

Digitized by Google

ment des moteurs peut rester supérieur à 0,85 entre la demi-charge et une surcharge de 50 p. 100, et pour des vitesses comprises entre la vitesse maxima et le quart de celle-ci (grâce au couplage des moteurs en série-parallèle).

Les locomotives électriques ont donc beaucoup plus d'élasticité que les locomotives à vapeur. Par exemple, la machine étudiée par M. Desdouits atteint son maximum d'utilisation à la vitesse de 40 à 50 km : h., lorsqu'elle remorque un train lourd sur une rampe d'inclinaison moyenne; à la vitesse de 70 km : h., il y a une perte de rendement de plus de 25 p. 100, qui croît très vite au delà. Il en résulte qu'on doit étudier des types de locomotives à vapeur spéciaux pour chaque cas. Certaines compagnies de chemins de fer n'ont pas moins de 8 à 9 types, répondant aux services suivants :

Trains express sur lignes à faibles déclivités
— ordinaires — — —
— de marchandises — —
— express sur lignes à fortes rampes
— ordinaires — — —
— de marchandises — —
— légers de voyageurs
— -tramways
Manœuvres de gare et manutentions de marchandises.

Ces types peuvent être réduits à un plus petit nombre; mais des nécessités de service, à défaut de la considération du rendement, ne permettent pas d'abaisser ce nombre au-dessous de 5 ou 6.

Au contraire, la même locomotive électrique peut très bien, si elle a 4 moteurs, fonctionner à la vitesse normale de 50 km : h. ou à celle de 100 km : h.; avec 6 moteurs, on peut employer une même machine pour des services à 100, 50 et 33 km : h. Du reste, un simple changement de moteurs ou de trains d'engrenages suffit à transformer les conditions de fonctionnement les plus économiques, et un seul type de locomotive peut théoriquement, moyennant cette modification, s'adapter à tous les services; nous en avons donné un exemple intéressant pour les locomotives Heilmann. En pratique, on serait conduit à en avoir deux, un pour les services de marchandises et un pour les services de voyageurs.

2° Le second rendement est évidemment meilleur dans les locomotives électriques que dans les locomotives à vapeur, surtout aux vitesses élevées qui réduisent la charge totale possible; par exemple, pour remorquer un train de 100 t. à la vitesse de 140 km. à l'heure, ce qui nécessite une puissance de 1 000 chev., il faudra une locomotive à vapeur de 85 t., tandis qu'il suffirait de 15 à 25 t. de moteurs sous les voitures, soit 20 à 30 t. avec les régulateurs et accessoires, ou d'une locomotive électrique séparée de 40 à 50 t. Le rendement de la traction est donc :

pour une locomotive à vapeur, $\frac{100}{100 + 85} = 0{,}548$,

pour une locomotive électrique séparée, $\frac{100}{100 + 50} = 0{,}755$,

et pour des voitures locomotrices, $\frac{100}{100 + 25} = 0{,}800$.

Digitized by Google

Même dans les conditions actuelles d'exploitation, cette différence est très sensible. Pour remorquer, par exemple, des trains express de 200 à 250 t., les compagnies françaises emploient des locomotives pesant environ 75 t. avec la moitié de leurs approvisionnements, soit 25 p. 100 du poids total, tandis qu'un équipement électrique de 25 t., représentant seulement 10 p. 100 du poids total, serait suffisant.

On peut objecter, il est vrai, que les pertes d'énergie dans les dynamos génératrices à la station et dans la ligne abaissent le rendement final. Mais cette perte due à la transmission électrique est amplement compensée par la supériorité du rendement moyen des machines à vapeur fixes sur celui des machines locomotives, tant à cause de l'emploi de moteurs à double ou triple expansion et à condensation qu'à cause de la constance de vitesse des machines fixes.

3° Quant au rendement net au crochet du tender de la locomotive à vapeur, il dépasse 0,40 à 0,45 aux vitesses élevées en palier. M. Regray[1] avait, pour des trains de 60 à 200 t., trouvé une moyenne de 0,42. Mais les machines plus modernes peuvent donner des *moyennes* plus élevées, dépassant 0,50[2]. En admettant ce dernier chiffre, le travail disponible au crochet du tender des locomotives à vapeur les plus puissantes actuelles serait de 650 à 700 chev. et l'effort de traction correspondant de 1 820 à 1 900 kg.

Dans la traction par locomotive électrique, sur une ligne à longs parcours où les démarrages sont rares, si l'on admet une moyenne de 0,85 pour le rendement de moteurs gearless, régulation comprise, 0,85 pour le rendement de la traction, 0,90 pour la ligne et 0,80 pour la station génératrice entre le

[1] *Revue générale des chemins de fer*, juillet 1881.

[2] Les essais de M. du Bousquet sur la première locomotive compound de la Compagnie du Nord ont donné, par exemple, les résultats suivants (*Revue générale*, juin 1892) :

| CHARGE REMORQUÉE | VITESSE | EFFORT de traction | TRAVAIL au crochet | TRAVAIL indiqué | RENDEMENT |
|---|---|---|---|---|---|
| 178,25 t. | 71 | 2 000 | 538,03 | 908 | 59,20 |
| — | 75,5 | 1 550 | 429,10 | 930,80 | 46,10 |
| — | 78 | 1 800 | 529,80 | 1 026,60 | 51,60 |
| — | 101 | 700 | 261,80 | 891,60 | 29 |
| 146 t. | 76 | 1 700 | 522,10 | 1 076 | 48,50 |
| — | 72 | 1 850 | 473,10 | 1 054 | 44,90 |
| — | 67 | 1 450 | 372,60 | 594 | 62,70 |
| — | 68 | 1 400 | 357,70 | 636 | 56,20 |
| — | 72 | 1 640 | 437,30 | 786,60 | 55,50 |
| — | 74 | 1 600 | 438,40 | 743,10 | 58,90 |
| — | 73,5 | 1 550 | 422 | 917 | 44,20 |
| — | 70 | 1 550 | 435,50 | 753,30 | 57,80 |
| — | 92 | 730 | 248,70 | 561,80 | 44,20 |

Les nouvelles locomotives de la même Compagnie ont donné 0,51 en palier à la vitesse de 100 km : h. d'une façon soutenue et un rendement moyen de 0,44 sur pente de 5 mm : m.

Digitized by Google

s machines à vapeur et les bornes des dynamos, on arrive à un ren-
nal *moyen* au crochet de

$$0{,}85 \times 0{,}85 \times 0{,}90 \times 0{,}80 = 0{,}52,$$

t à celui d'une locomotive à vapeur. Ce chiffre correspond à un ren-
la jante de

$$0{,}85 \times 0{,}90 \times 0{,}80 = 0{,}612,$$

être assez facilement atteint en pratique dans une grande installa-
exemple, dans l'exploitation électrique de la ligne souterraine de
, l'expérience a fait ressortir un rendement de 0,60 à 0,65 entre le
s machines motrices et la jante des roues.

ie machine de vitesse, la locomotive électrique n'offre
en palier une supériorité de rendement sensible sur la
ve à vapeur. Mais la supériorité apparaît dès que la ligne
des rampes un peu fortes, parce qu'on est alors obligé,
liser une puissance suffisante, d'augmenter le poids de la
ve à vapeur beaucoup plus que celui de la locomotive
e correspondante.

ulement la puissance spécifique de la locomotive à vapeur
faible que celle de la locomotive électrique, mais sa
absolue, qui est limitée par la capacité de vaporisation
udière, est plus restreinte; elle est en effet fixée par les
ns du châssis, qu'on ne peut, avec les dispositions ac-
ugmenter sensiblement sans réduire la souplesse du véhi-
ans accroître le poids porté par les essieux au delà du
fixé par la résistance des voies et des ouvrages d'art[1].
compagnies se préoccupent-elles plutôt de diminuer le
cheval et les résistances de la locomotive et du train.
es moteurs électriques, ces deux difficultés disparaissent,
ut augmenter presque indéfiniment la puissance en aug-
e nombre des bogies moteurs; on pourrait, par exemple,

ır du foyer, déterminée par l'écartement des roues, ne dépasse ordinai-
vec les longerons extérieurs, 1,05 à 1,10 m., ni la longueur maxima 2,50 m.
conduite du feu. La surface de grille est ainsi limitée à un maximum
viron sur les locomotives françaises. Mais rien n'empêcherait de l'aug-
doptant, comme dans les machines Belpaire de l'État belge qui attei-
e surface de grille, la disposition consistant à faire déborder le foyer au-
ngerons et à appliquer un essieu porteur à l'arrière. La même augmen-
lisée plus facilement en Amérique grâce aux dimensions plus grandes

Digitized by Google

construire une locomotive double, à deux châssis articulés reposant chacun sur des bogies à 2 ou 3 moteurs de 200 chev., ce qui ferait au total 8 ou 12 moteurs, représentant une puissance de 1 600 ou 2400 chev., supérieure aux plus grands besoins actuels. Actuellement les locomotives électriques de Baltimore peuvent produire un effort de 18000 kg. et une puissance de 1500 chev.; à la tension de 1 000 volts, elles pourraient même aisément développer 3000 chev., comme nous l'avons dit plus haut.

**Conclusions en ce qui concerne la traction électrique par locomotives à alimentation extérieure; cas d'emploi de ce mode de traction sur les chemins de fer.** — La grande puissance spécifique favorise particulièrement, comme on le verra mieux au chapitre XIII, l'emploi de la locomotive électrique pour la réalisation de grandes vitesses et pour la traction sur les lignes de montagne à simple adhérence ou à crémaillère.

Dans le premier cas, on peut accroître les vitesses actuelles sans augmenter sensiblement le poids mort : tandis qu'aujourd'hui les vitesses de 100 à 120 km : h. ne peuvent être économiquement dépassées avec la machine à vapeur, on pourrait aller bien plus loin avec la locomotive électrique. Mais il ne faut pas se bercer d'illusions à cet égard : la sécurité de l'exploitation et l'accroissement rapide de l'effort de traction ne permettront pas d'ici longtemps de dépasser cette limite sur les lignes ordinaires. Pour atteindre 200 ou même seulement 150 km : h., il serait nécessaire de recourir à des trains légers utilisant les matériels spéciaux indiqués au chapitre VIII et circulant sur des voies spéciales.

Dans le second cas, c'est-à-dire sur les lignes de montagne, la traction électrique permet en outre de réaliser l'adhérence totale en rendant toutes les voitures automotrices; on peut donc, pour des lignes nouvelles à simple adhérence, admettre facilement, comme l'a fait la Compagnie P.-L.-M. sur la ligne du Fayet à la frontière suisse par Chamonix, des tracés à fortes rampes et faibles rayons, plus économiques d'établissement; cette économie pourra, à elle seule, dans bien des cas, suffire à justifier l'emploi de la traction électrique en compensant, et au delà, tous les frais supplé-



Digitized by Google

écessités par l'établissement des stations génératrices
transmission.

gnes à crémaillère, où le poids propre de la locomo-
ns le poids total du train un rôle d'autant plus impor-
rampe est plus forte, puisqu'à puissance constante la
rquée diminue, il en sera de même, grâce à la légè-
nde du moteur électrique. On peut, dans ce cas, tirer
plus complet de cette légèreté en supprimant le lest
e la marche à adhérence simple.

eux cas que nous venons d'indiquer et qui seront étudiés
détails au chapitre VIII, la locomotive électrique à
extérieure est un engin de traction supérieur à toutes
ves à vapeur et elle a devant elle un avenir certain.
ge précédent, il faut ajouter, comme on le verra plus
de commodité de régulation des moteurs électriques.
circonstance, le personnel des locomotives alimentées
ur extérieur peut à la rigueur être réduit à un seul
canicien, consacrant toute son attention à la surveil-
voie, à condition, bien entendu, que le conducteur du
ossibilité d'accéder aux appareils de manœuvre pour
n collègue en cas d'accident.

de fumée constitue pour l'électricité un avantage ac-
peut prendre une grande importance dans le service
itains, des lignes de banlieue ou des lignes en tunnel.
onsidération qui a fait adopter, par exemple, l'emploi
n électrique dans le tunnel de Baltimore ; elle a con-
ment à cette adoption sur les chemins de fer urbains
ondres, de Liverpool, de Chicago, de Berlin, de Buda-
oklyn.

ervices métropolitains, un autre avantage de la trac-
ue est le faible gabarit nécessaire pour les automo-
encore pour les locomotives : ce gabarit réduit permet
ignes tubulaires et leur exploitation par un matériel
t qu'aucun de ceux qu'on pourrait réaliser avec les
nes de traction.

rt, une considération très importante pour un service
c'est la rapidité de la mise en vitesse des trains. Or.



ame on le verra au chapitre
ar grande puissance spécifi
régime, permettent d'obteni
moteurs mécaniques, don
par la résistance de l'in
Pour tous ces motifs, l'électr
me de la traction sur les
alisant les organes mot
er les locomotrices con
es de personnel. Les fra
ques sont à peu près éq
l'entretien des premier
a vapeur doit être netto
un moteur électrique peut
comprend-on que tout
mes en arrivent peu à
sur leurs lignes. Elles y
iser des services plus rap
ations corrélatives de
cas, un avantage écon
es de main d'œuvre et d
ant d'ailleurs remarquer
pas, en général, d'une
ité, mais seulement de
de qualité et de prix
métropolitain à vap
une bonne machine d
ransmission électrique d
ence montre que le rende
abaisse sur les ligne
ges rapprochés, à 0,60
0,65 ou 0,70 pour de

ment de ne pas oublie
gres incessants réalisé
de 10 p. 100 par exe
les lignes métropolita
ur cheval-heure indiq
D. L. Barnes.

Digitized by Google

comme on le verra au chapitre XIII, les moteurs électriques, grâce à leur grande puissance spécifique et à leur remarquable élasticité de régime, permettent d'obtenir des accélérations plus rapides que les moteurs mécaniques, dont le poids est d'ailleurs forcément limité par la résistance de l'infrastructure.

Pour tous ces motifs, l'électricité résout très avantageusement le problème de la traction sur les chemins de fer métropolitains, tout en réduisant les organes moteurs au minimum, en permettant d'utiliser les locomotrices comme véhicule et en diminuant les dépenses de personnel. Les frais d'achat et d'entretien des moteurs électriques sont à peu près équivalents à ceux des locomotives à vapeur[1]; l'entretien des premiers est même plus réduit, car une locomotive à vapeur doit être nettoyée tous les 1 500 km. environ, tandis qu'un moteur électrique peut parcourir 5 000 km. sans entretien.

Aussi comprend-on que toutes les compagnies de métropolitains américaines en arrivent peu à peu à substituer l'électricité à la vapeur sur leurs lignes. Elles y trouvent non seulement la facilité de réaliser des services plus rapides et intensifs, donnant lieu à des augmentations corrélatives de recettes, mais aussi, dans la majorité des cas, un avantage économique direct par la réduction des dépenses de main d'œuvre et de charbon.

Il faut d'ailleurs remarquer que cette dernière économie ne résulte pas, en général, d'une diminution de la quantité de charbon brûlé, mais seulement de la possibilité d'employer du combustible de qualité et de prix inférieurs. Si, en effet, une locomotive de métropolitain à vapeur brûle par cheval 2 à 2,5 fois plus qu'une bonne machine de station centrale[2], le rendement de la transmission électrique du cheval-heure effectif est faible : l'expérience montre que le rendement moyen des moteurs et régulateurs s'abaisse sur les lignes métropolitaines, par suite des démarrages rapprochés, à 0,60 ou 0,65 pour des moteurs à engrenages et à 0,65 ou 0,70 pour des moteurs gearless; en admettant

[1] Il est bon seulement de ne pas oublier que les matériels électriques se démodent vite, à cause des progrès incessants réalisés; on doit, par suite, prévoir un amortissement rapide, au taux de 10 p. 100 par exemple.

[2] Par exemple, sur les lignes métropolitaines à vapeur de Chicago, on brûle environ 1,8 kg. d'anthracite par cheval-heure indiqué, au lieu de 0,9 kg. dans une machine fixe à condensation, d'après D. L. Barnes.

Digitized by Google

le rendement moyen pour la ligne et 0,80 pour les machines
eur et dynamos réunies, on ne peut guère compter au total
us de

$$0{,}60 \times 0{,}90 \times 0{,}80 = 0{,}432$$

$$\text{à} \quad 0{,}70 \times 0{,}90 \times 0{,}80 = 0{,}504$$

un service de ce genre[1]. La consommation de charbon est
pratiquement la même dans les deux cas. Mais la dépense
spondante est plus élevée dans le premier, parce que dans une
n centrale on brûle du charbon ordinaire, tandis que sur des
motives circulant à l'intérieur d'une ville on ne peut employer
u charbon non fumeux ou du coke. A Chicago, par exemple,
rbon d'usine ne coûte que 6 fr. la tonne, au lieu que l'an-
te employé sur les locomotives d' « Elevated » revient à
, soit 29 fr. de différence par tonne brûlée. Cette différence,
à l'économie d'entretien des moteurs et à celle de personnel,
à payer et au delà les frais d'amortissement et d'entretien
sines et des conducteurs.

s conditions ne sont pas les mêmes sur les grandes lignes
aires. Les difficultés qui restreignent l'emploi de la traction
ique dans le cas général sont les unes d'ordre financier, les
s relatives à la distribution du courant le long des voies (prix
d'établissement des stations et des lignes, frais d'exploita-
rupture possible des conducteurs de distribution) et sortent
dre de cet ouvrage. Sans entrer dans le détail des évalua-
, il est facile de se rendre compte que la traction électrique
ut être économique sur les lignes exploitées à l'aide de trains
nombreux et fournissant de longs parcours.

ur le service des trains de marchandises, où les locomotives
eur utilisent entièrement leur poids pour l'adhérence, celui-ci
eut être diminué pour la locomotive électrique équivalente;
e peut songer non plus à équiper électriquement des wagons
rchandises. Le poids mort reste alors le même pour la trac-
électrique que pour la traction à vapeur, la locomotive à
ar fonctionnant ici avec un rendement maximum que ne pour-

s chiffres concordent bien avec les résultats expérimentaux obtenus notamment
Metropolitan R.R. de Chicago (moteurs à engrenages) et le City and South
n Ry. (moteurs gearless).

Digitized by Google

rait dépasser la traction électrique. Les installations coûteuses qu'exigerait celle-ci n'auraient donc pas de raison d'être, en dehors des lignes où le service des voyageurs serait déjà assuré par l'électricité et où l'on aurait la force motrice à très bon marché, en particulier dans les pays de montagne où le charbon est cher et l'utilisation des chutes d'eau généralement économique. Dans les cas où l'on doit recourir à la crémaillère, la question d'adhérence n'intervenant plus, la traction électrique conserve évidemment les mêmes avantages que pour les services de voyageurs.

En définitive, nous pouvons dire dès maintenant, à titre de conclusion, qu'il nous semble bien difficile de détrôner la locomotive à vapeur dans son véritable domaine, c'est-à-dire sur les lignes dont le profil est bien établi et qui donnent lieu à un trafic à grande distance, mais que la locomotive électrique proprement dite continuera à gagner du terrain partout où l'emploi de la vapeur soulève des critiques graves, par exemple dans les villes, sur les lignes de banlieue, dans les grands souterrains, sur les lignes à fortes rampes, etc., et qu'elle donnera de bons résultats économiques toutes les fois qu'il s'agira de services par trains légers très nombreux et à arrêts fréquents, en un mot de services analogues à celui des tramways.

Il est donc sage de renoncer, dans l'état actuel de nos connaissances, à des illusions chimériques que la presse non technique et même quelquefois malheureusement la presse technique ont trop souvent fait naître.

Pour ceux qui trouveraient nos conclusions trop pessimistes, nous citerons l'opinion d'un des hommes les plus compétents en cette matière, du véritable fondateur de la traction électrique moderne, M. F. J. Sprague, que personne n'accusera, pensons-nous, de parti pris contre l'électricité : « Personne peut-être, dit-il [1], n'a été mêlé plus activement que moi à l'industrie de la traction électrique ; personne n'a foi plus que moi en son avenir. Mais cet avenir ne consiste pas dans la destruction en bloc des grands systèmes existants. Il réside dans le développement d'un *champ d'ac-*

[1] « Will trunk lines be operated by electricity », par M. F. J. Sprague, *Engineering Magazine*, 1895, p. 610.

Digitized by Google

*ion propre*, présentant des bornes acceptées, mais de vastes espaces. L'électricité remplira ce champ à peu près à l'exclusion de tout autre mode de transmission de l'énergie : elle remplacera la locomotive à vapeur sur maintes lignes suburbaines et d'intérêt local; elle accaparera la plupart des tramways et des métropolitains aériens ou souterrains du monde ; elle sera un auxiliaire utile des grandes lignes; mais elle n'a pas sonné le glas de mort de la locomotive à vapeur, pas plus que la dynamo n'a sonné celui de la machine à vapeur fixe. Chacune d'elles a sa sphère légitime et son rôle propre à remplir dans les besoins de notre civilisation. »

**Poids, puissance et rendement des locomotives électriques automotrices.**— Le poids des locomotives électriques automotrices, bien d'être inférieur, est forcément supérieur à celui des locomotives à vapeur de même puissance.

Tout d'abord, si des batteries d'*accumulateurs* sont employées comme réservoir d'énergie, leur poids ne peut, dans l'état actuel de l'industrie, être inférieur à 150 kg. par cheval de puissance sur essieu[1], ce qui, en ajoutant le poids du truck et de ses moteurs, évalué plus haut à 50 kg. par cheval environ, donne un poids total d'au moins 200 kg. par cheval, tandis que celui d'une locomotive à vapeur à grande vitesse avec son tender est, d'après les enseignements qui précèdent, inférieur à 100 kg.

La locomotive à accumulateurs absorberait donc la presque totalité de l'énergie disponible pour sa propre propulsion. Par exemple, une machine de 500 chev. pesant 100 t., remontant une pente de mm. à la vitesse de 80 km : h., consommerait à elle seule une puissance d'environ 300 chev., laissant 200 chev. seulement disponibles au crochet. En admettant 0,65 de rendement pour les accumulateurs et 0,90 pour les moteurs, le rendement final serait $\frac{200}{500} \times 0{,}65 \times 0{,}90 = 0{,}234$, ce qui est par trop insuffisant.

A titre d'exemple, nous pouvons citer la locomotive à accumulateurs essayée par la Compagnie du Nord. La batterie, formée de 80 accumulateurs de la Société

En effet, en admettant un débit de 2 à 3 ampères par kg. de poids total de batterie, et 4 à 6 watts par kg., et en supposant aux réceptrices un rendement de 0,90, un cheval exige $\frac{736}{0{,}90} = 820$ watts au moins, ce qui fait 150 à 200 kg. par cheval.

Digitized by Google

pour le Travail électrique des Métaux, ayant une capacité de 1 859 ampères-heures (12,5 amp.-h. par kg. de plaques pour un régime de 2 ampères par kg.), présentait, avec les bacs en ébonite et les accessoires, un poids total de 19 t. et pouvait fournir une puissance de 52 chev. Le poids total de la locomotive était de 46 t., soit 900 kg. par cheval, et la machine n'était capable que de se mouvoir elle-même sur un parcours de 300 km : h. à la vitesse de 46 km : h.

Il est donc inutile de songer à la traction par locomotives à accumulateurs tant qu'une invention nouvelle et grosse de conséquences n'aura pas fait connaître un accumulateur léger[1], différant de tous ceux construits jusqu'ici[2].

Il reste ainsi seulement à examiner les locomotives *portant leur usine génératrice* (locomotives Heilmann), véritables locomotives à vapeur où l'électricité ne sert, comme on l'a vu, que d'agent de transmission du travail de la machine aux roues.

On fait valoir, en premier lieu, en faveur de ces machines la puissance beaucoup plus grande de leur chaudière par rapport à celle des machines ordinaires ; en effet, grâce à l'emploi des bogies, on a pu développer le foyer et donner à la grille une surface de 3,34 m². Mais, comme on l'a vu plus haut (p. 496), il n'est pas impossible de réaliser la même surface de grille sur une locomotive à vapeur ordinaire. D'autre part, la machine et la chaudière pèsent plus que celles d'une locomotive à vapeur de même puissance à la jante des roues : ce fait provient à la fois des pertes de la transmission et du poids mort supplémentaire important que porte la machine sous forme de dynamos et de moteurs, remplaçant la transmission ordinaire par bielles.

Si l'on considère, par exemple, la locomotive Heilmann, dernier modèle, qu'on attribue à la transmission électrique entre les pistons de la machine à vapeur et l'essieu le rendement maximum de 0,75 indiqué plus haut d'après le constructeur lui-même et qu'on admette pour le rendement d'une transmission ordinaire par bielles le chiffre de 0,95, on voit que la puissance de la machine à vapeur et de la chaudière est majorée dans le rapport

$$\frac{0,95}{0,75} = 1,26,$$

c'est-à-dire qu'elle est de 1/4 plus grande que dans la locomotive à vapeur équivalente.

Quant au poids des dynamos et moteurs, il est de 40 t. environ pour une puissance à la jante en palier de 1 000 chevaux, soit 40 kg. par cheval.

[1] L'accumulateur au cuivre avait paru donner une meilleure solution ; mais l'usage a forcé à l'abandonner par suite des difficultés de son entretien.

[2] Il y a cependant un cas où ces appareils peuvent être employés exceptionnellement dès aujourd'hui : c'est celui des mines où l'on ne peut, pour un motif quelconque, installer des conducteurs de distribution ; mais cette application n'a rien de commun avec l'exploitation des grandes lignes.

Digitized by Google

Aussi la locomotive Heilmann atteint-elle un poids de 115 t. à vide et de 132 t. avec la moitié de ses approvisionnements ; comme elle réalise une puissance indiquée aux cylindres de 1 350 chev. et une puissance à la jante de 1 000 chev. environ, on voit qu'elle pèse 130 à 150 kg. par cheval, tout compris, tandis que les locomotives à vapeur modernes à voyageurs en ordre de marche, avec des approvisionnements équivalents, ne pèsent que 75 à 100 kg. par cheval.

Cette augmentation de plus de 50 p. 100 sur le poids serait cependant, d'après M. Heilmann, sans inconvénient au point de vue du rendement sur les lignes ordinaires, parce que le coefficient de traction de ses locomotives serait réduit sensiblement dans la même proportion par rapport à celui des locomotives à vapeur actuelles. D'après les essais de M. Mazen cités plus haut, il serait seulement de 5,1 kg. par t. à la vitesse de 62,5 km : h. et de 7,5 kg : t. à la vitesse de 100 km : h., tandis que les locomotives à vapeur donneraient au moins 9 et 14 kg : t., c'est-à-dire presque le double [1]. A la vitesse de 100 km : h. en palier, les efforts nécessaires à la propulsion de la locomotive Heilmann de 132 t. et d'une locomotive à vapeur de 85 t. seraient respectivement, avec cette manière de calculer :

$$7{,}5 \times 132 = 990 \text{ kg.}$$

$$\text{et } 14 \times 85 = 1\,190 \text{ kg.},$$

c'est-à-dire que l'effort exigé par la locomotive Heilmann serait sensiblement plus faible.

Mais ce calcul n'est pas exact, car, ainsi qu'on l'a vu plus haut (p. 485), sur les 14 kg. de résistance de la machine à vapeur, il y en a 3 ou 4 relatifs au mécanisme et qui sont, par conséquent, déjà englobés dans le rendement organique: de telle sorte que la résistance du véhicule n'est en réalité que de 10 à 11 kg., ce qui donne seulement 850 à 930 kg. pour l'effort nécessaire à la propulsion de la locomotive à vapeur.

Il en résulte que la *puissance disponible au crochet* resterait à peu près la même malgré la différence des poids. La locomotive à vapeur du Nord pesant 75 t. développe 600 chevaux au crochet en palier à la vitesse de 100 km : h. et pèse, dans ces conditions, 141,5 kg. par cheval utile; la locomotive Heilmann développerait, d'après l'inventeur, à la même vitesse et en palier, 0,50 de la puissance indiquée, soit 650 chevaux au crochet [2], ce qui donnerait 203 kg. par cheval (différence 40 p. 100).

En théorie, grâce à sa distribution perfectionnée et au fonctionnement à détente fixe, la machine à vapeur Willans de la locomotive Heilmann peut donner à charge variable une consommation de vapeur moyenne moindre qu'une locomotive à vapeur de même puissance indiquée; tant que les rampes ne dépassent pas la valeur limite dont nous venons de parler, la consom-

[1] M. Mazen cite même le chiffre de 11,2 kg : t. à la vitesse de 62,5 km : h. pour la machine à vapeur n° 957 de la Compagnie de l'Ouest; mais il s'agit toujours d'une marche *à régulateur fermé*.

[2] Ce chiffre nous a été communiqué par M. Drouin, ingénieur chef des services techniques des établissements Heilmann, avant les résultats de l'expérience; s'il était reconnu trop élevé, la locomotive Heilmann perdrait naturellement toute raison d'être.

Digitized by Google

mation par cheval utile au crochet ou par t.-km. de train remorqué pourrait donc ne pas dépasser celle d'une locomotive à vapeur.

En fait, cette consommation, pour la première locomotive Heilmann, a été en moyenne, pendant les essais rapportés par M. Mazen, de 0,108 kg. par t.-km. de train remorqué, aux vitesses de 60 à 80 km : h. ; ce chiffre serait même, d'après le rapport, tombé à 0,072 kg. à la fin des essais [1]. En comparant ces chiffres à ceux que donnent les locomotives ordinaires à grande vitesse, c'est-à-dire 0,080 à 0,100 kg. par t. de train total [2] et à ceux des nouvelles locomotives compound, c'est-à-dire 0,060 à 0,070 kg. [3], on voit qu'ils sont inférieurs aux premiers, mais égaux ou supérieurs aux seconds. Il n'est donc pas établi que la locomotive Heilmann donnera en pratique des consommations moindres que les locomotives à vapeur les plus modernes, qui sont des appareils relativement très économiques.

Quant au rendement net de la locomotive (rapport de la puissance au crochet à la puissance indiquée), s'il atteint le chiffre de 0,471 déterminé sur la « Fusée » par M. Mazen [4] à la vitesse de 100 km : h. et même celui de 0,50 auquel nous venons de faire allusion, il serait comparable et plutôt inférieur à celui des locomotives à vapeur, qui, à ces mêmes vitesses, atteint aujourd'hui 0,50 à 0,52 [5].

Tant que les déclivités restent faibles, la locomotive Heilmann serait donc à peu près équivalente comme puissance de traction au crochet et comme dépense de charbon à la locomotive à vapeur en régime permanent, aux grandes vitesses. Grâce à la compensation qui s'établit entre la montée et la descente et à l'élasticité de production de la chaudière, on peut admettre la même conclusion pour les lignes accidentées à courtes rampes.

Mais si la ligne présente des rampes longues et fortes, les conditions de la comparaison se trouvent considérablement modifiées par le travail de la pesanteur, qui joue alors un rôle considérable dans le travail total et ne permet plus de compenser aussi bien l'excès de poids de la machine Heilmann par une réduction d'effort de traction. Sur une rampe de 5 mm., par exemple, les efforts de traction à 100 km : h. deviendraient respectivement :
pour la locomotive Heilmann,

$$7{,}5 + 5 = 12{,}5 \text{ kg.},$$

[1] Entre Paris et Mantes, la consommation était descendue de 6,900 kg. par train-km. à 3,730 kg., moyenne 5,630 kg.

[2] Par exemple, pour considérer les plus grosses locomotives à vapeur, dans un essai de vitesse exécuté en Amérique sur l'Empire State Express avec une locomotive de 90 t. remorquant un train de 155 t., soit en tout 250 t., à la vitesse de 304 tours d'essieu par minute (113,5 km : h.), la puissance indiquée maxima étant de 1 120 chev. et la puissance de vaporisation de 7 kg. de vapeur par kg. de charbon, la consommation de charbon a été de 1,42 kg. par cheval-heure et de 0,102 kg. environ par t.-km., au lieu de 0,09 kg. pour la locomotive Heilmann, dans des conditions équivalentes.

[3] Par exemple, les récents essais de la locomotive 1760 compound du Midi ont donné une consommation de 0,050 kg. par t.-km. de train remorqué dans le cas de trains rapides à peu d'arrêts et descendants, et de 0,062 kg. pour des trains plus rapides à arrêts plus nombreux et montants.

[4] *Loc. cit.*

[5] Le minimum a été, par exemple, de 0,42, dans des essais de M. du Bousquet sur le chemin de fer du Nord à la vitesse de 101 km : h. et dans des essais du Pennsylvania R. R. à la vitesse de 105 km : h.; la moyenne a atteint 0,50.

Digitized by Google

et pour la locomotive à vapeur considérée plus haut,

$$10 + 5 = 15 \text{ kg.}$$

Les efforts absorbés pour la propulsion des deux machines à la vitesse de 100 km : h. seraient alors respectivement :

$$12{,}5 \times 132 = 1\,650 \text{ kg.}$$
$$\text{et } 15 \times 85 = 1\,275 \text{ kg.}$$

L'effort total correspondant à une puissance de 1 000 chevaux à cette vitesse étant de $\frac{75 \times 1\,000 \times 3.6}{100} = 2\,700$ kg. et le coefficient de traction étant de 6 kg. environ pour le reste du train, celui-ci pourrait avoir respectivement, sur rampe de 5 mm : m., les poids de

$$\frac{2\,700 - 1\,650}{6 + 5} = 95{,}5 \text{ tonnes pour la locomotive Heilmann}$$

$$\text{et } \frac{2\,700 - 1\,275}{6 + 5} = 129 \quad — \quad — \quad — \quad \text{à vapeur.}$$

et sur rampe de 2 mm : m. les poids de 150 et 203 tonnes.

En fait, ce dernier résultat est déjà dépassé avec les locomotives à vapeur sur plusieurs grandes lignes : par exemple, les locomotives du Great Northern et du Midland anglais, qui pèsent 80 et 85 t. respectivement, remorquent des trains de cette importance à la vitesse *commerciale* de 85 km : h. sur des lignes présentant d'assez longues rampes de 5 et 6 mm. par m.; les dernières machines du Nord font mieux encore, puisqu'elles ont pu remorquer des trains de 220 t. à la vitesse de 100 km : h.

La locomotive à vapeur moderne semble donc être franchement supérieure à la machine Heilmann sur les lignes à très longues rampes de 5 à 6 mm. par m., malgré la puissance indiquée plus grande attribuée à sa rivale; il en serait de même a fortiori si l'on donnait à la locomotive à vapeur une enveloppe extérieure continue et effilée analogue à celle de la locomotive Heilmann, de façon à réduire également pour toutes deux l'influence de la résistance de l'air.

On doit se demander quelle sera la fatigue occasionnée aux voies et aux ouvrages d'art par une masse de 130 à 150 tonnes circulant à grande vitesse. M. Heilmann répond, avec raison, semble-t-il, que, grâce à l'emploi de ses deux bogies, la charge par essieu n'est pas supérieure à celle des locomotives actuelles et que de plus elle est constante, tandis que la charge statique d'un essieu de locomotive ordinaire est augmentée, quelquefois de plusieurs tonnes, par l'effet des contre-poids; la voie éprouverait donc moins de fatigue. Il a étudié aussi l'effet sur les ouvrages d'art et reconnu qu'un train formé de wagons de 16 t. attelés à une locomotive de 120 t. donne, jusqu'à une portée comprise entre 20 et 25 m., des moments fléchissants inférieurs à ceux du train-type défini par la circulaire ministérielle du 29 août 1891; de 25 à 40 m. environ, ces moments sont un peu plus élevés; au delà de 40 m., ils redeviennent plus faibles; la différence maxima en plus (au voisinage de 30 m.) est de 1/16 environ, ce qui ne présente rien d'inquiétant.

Ce résultat intéressant provient de la division de la charge entre un grand

Digitized by Google

nombre d'essieux, tandis que dans les locomotives ordinaires près de la moitié du poids total repose sur deux essieux seulement.

Par contre, la machine Heilmann présente une cause d'infériorité très sérieuse : c'est son prix élevé d'achat et d'entretien. Le prix d'une locomotive ordinaire de 1 000 chev. est en Amérique de 60 000 fr., soit 60 fr. par cheval, et en France de 100 000 fr., soit 100 fr. par chev., tandis que celui d'une locomotive Heilmann de 1 000 chev. à la jante des roues atteint plus du double, 250000 à 300000 fr.

Cette différence de prix n'a rien d'étonnant, puisque la locomotive Heilmann porte 1 000 chev. de matériel électrique en double et que la puissance indiquée y est beaucoup plus élevée. Mais elle a une influence très fâcheuse et très importante sur les dépenses annuelles de traction.

Par exemple, sur les chemins de fer français une locomotive d'express de 50 t. fait en moyenne 35 à 40 000 km. par an en consommant 10 à 12 kg. de charbon par kilomètre-train.

Les 400 t. ainsi brûlées par an, au taux de 20 fr. la t., correspondent à une dépense de 8 000 fr. En admettant que la locomotive Heilmann, qui fera, comme on vient de le voir, un service équivalent, économise 20 p. 100 de ce combustible, on réaliserait de ce chef une économie de 1 600 fr. seulement. Mais comme elle coûte 150 000 fr. de plus qu'une locomotive ordinaire, l'intérêt et l'amortissement à 6 p. 100 de cet excédent de capital représentent une augmentation de dépense de 9 000 fr. Dans ces conditions, même en admettant que cette locomotive n'exige aucun personnel supplémentaire et que son entretien ne soit pas plus coûteux que celui d'une locomotive ordinaire, elle serait encore en état d'infériorité économique par le seul fait de son prix d'achat beaucoup plus élevé.

En fait, elle exigera un troisième agent, soit 3 000 fr. par an, ce qui porte à 12 000 fr. au minimum l'excédent des dépenses, que d'autres ont même évalué à 16 000 fr.[1].

A cette objection capitale les constructeurs répondent, non sans quelque logique, que leur locomotive, étant plus puissante, pourra transporter un nombre plus grand de voyageurs et réaliser, par suite, des recettes plus élevées : pour couvrir les 16 000 fr. précédents il suffirait d'une augmentation de 143 000 voyageurs-kilomètres par locomotive, ce qui équivaut à trois transports aller et retour de 30 voyageurs supplémentaires par train de Paris à Marseille ; il semble donc facile de couvrir le déficit et de le remplacer par un bénéfice. Cette réponse n'est cependant pas aussi satisfaisante qu'elle en a l'air, car pour transporter un excédent de voyageurs il faudrait un matériel supplémentaire, dont les frais d'amortissement et d'entretien viendraient s'ajouter aux 16 000 fr. précédents et ne permettent pas de compter sur une aussi facile compensation, à moins de faire entrer en ligne de compte des économies éventuelles sur l'entretien de la voie ferrée.

**Conclusions relatives aux locomotives automotrices.** — En résumé, si les locomotives automotrices présentent le même truck

[1] De Marchena, *Bulletin de la Société des Ingénieurs Civils*, 1896.

Digitized by Google

et les mêmes avantages comme véhicules que les locomotives purement électriques, elles n'en ont pas la légèreté; elles peuvent, il est vrai, grâce à la disposition du châssis à bogies, recevoir une chaudière plus puissante que celle des locomotives à vapeur construites actuellement en France; mais le poids de l'ensemble croît en même temps dans une proportion sensiblement plus forte que la puissance à la jante. Pour que la puissance disponible au crochet puisse, dans ces conditions, dépasser celle d'une locomotive à vapeur moderne, il faut que le coefficient de traction soit très inférieur à celui des locomotives à vapeur; ce résultat n'est possible qu'aux grandes vitesses et il reste encore à établir définitivement par l'expérience que dans ces conditions la réduction atteint bien à régulateur ouvert pour les locomotives de 1 000 chev. les chiffres cités et critiqués plus haut pour les machines à régulateur fermé.

S'il en était ainsi, la locomotive Heilmann, permettant de remorquer des express plus lourds ou plus rapides que les express actuels, présenterait une raison d'être pour les services de voyageurs des grandes lignes, par suite de la difficulté qu'on éprouve à accroître davantage la puissance des locomotives à vapeur ordinaires; son poids peut, du reste, être sans inconvénient pour la voie et les ouvrages d'art.

Mais il ne faut pas se dissimuler que les avantages que nous avons fait valoir en sa faveur n'ont qu'un intérêt *théorique* et que la véritable question *pratique*, c'est celle du *prix de revient*; or, pour la nouvelle machine, le prix élevé d'achat, la complication du mécanisme, les frais beaucoup plus élevés d'entretien et de personnel ne pourraient être compensés que par une économie de combustible, que l'expérience n'a pas fait ressortir, quoi qu'on dise, et par un supplément de recettes résultant d'une plus grande capacité possible des trains remorqués, qui reste douteuse.

La locomotive Heilmann peut-elle réellement développer à la vitesse de 100 km : h., en palier et en régime permanent, une puissance supérieure à celle de la locomotive à vapeur moderne et cette dernière ne peut-elle arriver au même résultat à un prix beaucoup moindre? Voilà donc la double question préalable dont il nous paraît sage d'attendre la réponse avant de vouloir porter un jugement définitif, qui risquerait, en l'état actuel, d'être partial ou injuste.

Digitized by Google

Si l'expérience[1] répond négativement, nous ne voyons pas bien à quel service ces locomotives pourraient être appliquées : peut-être à l'exploitation des lignes de montagne à fortes déclivités et à faibles rayons, lorsqu'on ne pourra y employer les locomotives électriques proprement dites ; mais là encore le poids mort considérable viendra réduire beaucoup l'efficacité du système. Celui-ci ne se présentera avec avantage que s'il s'agit de construire une ligne nouvelle, grâce à l'économie des frais de construction qu'il pourra permettre de réaliser par l'adoption de déclivités plus grandes en adaptant des moteurs non seulement aux essieux de la locomotive, mais à tous les essieux du train comme l'avait proposé d'abord M. Heilmann.

Mais, quel que puisse être notre sentiment sur le système, ce serait une grande injustice de ne pas reconnaître l'extrême ingéniosité de celui-ci et les multiples difficultés vaincues ; les hommes d'initiative de la trempe de M. Heilmann sont trop rares en France et font trop honneur à notre pays pour que nous ne désirions pas rendre à l'inventeur le sincère hommage que méritent son talent et sa courageuse persévérance et exprimer le souhait que ceux-ci ne soient pas stériles. D'ailleurs, l'exemple de bien des inventions heureuses qui ont été condamnées, à l'origine, par les savants et les spécialistes contemporains nous apprend qu'il faut se garder de porter un jugement précipité sur un système nouveau.

## § 5. — Locomotives industrielles pour mines, chantiers, usines, etc.

**Généralités.** — Comme nous l'avons dit déjà, la traction électrique par locomotives a depuis longtemps trouvé des applications dans les mines et plus généralement dans diverses industries où l'on a accessoirement des transports à effectuer.

La traction électrique dans les galeries de mines se fait par les mêmes procédés que sur les voies ferrées à la surface du sol ;

[1] Les nouvelles locomotives sont à l'essai depuis le mois de décembre 1897, sur le réseau de l'Ouest ; mais les résultats sont encore tenus secrets.

Digitized by Google

ɜs types de locomotives spéciaux, très aplatis, bien que très ıissants, et à certains desquels leur forme a valu le nom de « dos ɜ tortue », permettent aux trains électriques de suivre les galeries s plus basses; leur vitesse est généralement de 6 kilomètres à ıeure environ.

La puissance de ces locomotives a été constamment en croisnt : les plus anciennes, installées en 1882 et 1883 dans les mines lemandes de Zaukerode, Neu-Stassfurt, Hohenzollern, ne développaient que 4,5 chev. sous un poids de 1,5 t. environ; les preiers types américains employés dans les mines de Lykens, rie, etc. développaient déjà 40 et même 60 chev. sous des ›ids de 6 à 9 t.; enfin, aujourd'hui des locomotives de 100 et )0 chev. sont employées dans certaines exploitations.

**Avantages de la traction électrique dans les mines, chantiers, etc.** — Les ɔteurs électriques présentent pour la traction dans les mines des avantages écieux : ils n'échauffent pas l'air, ne le vicient pas, n'en absorbent pas xygène, et suppriment les dangers d'incendie et d'explosion, l'échauffement les émanations dangereuses des locomotives à vapeur.

La manœuvre de ces engins est beaucoup plus commode que celle des ɔteurs à vapeur ou à air comprimé : ils sont, en effet, moins lourds, plus :iles à déplacer et à entretenir, et la régulation de leur vitesse est plus précise plus simple.

Ils permettent de réaliser, sous un gabarit donné, des puissances incompablement supérieures à celles des locomotives à vapeur et peuvent être luits à une hauteur extrêmement faible.

La canalisation, formée de conducteurs en cuivre, est plus souple, incompablement plus facile à poser, à déplacer et à entretenir qu'une canalisation ıir comprimé. La même distribution peut servir à l'éclairage et à la distrition de force, ce qui est impossible avec les procédés mécaniques [1].

Enfin, l'économie d'installation et d'exploitation est plus grande qu'avec cun autre système, grâce à la possibilité de concentrer toute la production nergie, pour les travaux de fond et ceux du jour, dans une seule usine placée a surface et munie de machines d'un bon rendement; la suppression des tes et des pertes constantes dans les transmissions contribue, en outre, éduire les dépenses annuelles.

La traction électrique est surtout économique par rapport au mode suranné transport par chevaux. Elle constitue véritablement le seul mode de tracn mécanique applicable dans les mines. La traction par chaîne flottante ., en effet, qu'un champ d'action très limité, par suite de la nécessité d'éta-

Dans les mines grisouteuses, malheureusement, on doit renoncer à la traction :trique par conducteurs à cause des étincelles au contact des frotteurs et des con:teurs de prise de courant.

Digitized by Google

blir des galeries droites, et les systèmes par câbles ont l'inconvénient d'encombrer les galeries et de rendre la circulation dangereuse pour les ouvriers. Quant à l'air comprimé, l'expérience a démontré que, dans les mines, il ne donne qu'un rendement maximum de 20 à 30 p. 100, tandis que l'électricité permet d'atteindre aisément sur l'outil 50 ou 60 p. 100 de la puissance prise sur le moteur de la génératrice, toutes pertes comprises. On a trouvé, d'autre part, que la traction minière par locomotives électriques revient, en moyenne, dans les mines allemandes à 0,11 fr. la tonne-kilomètre, au lieu de 0,16 fr. par chevaux et 0,26 fr. par hommes. Aux houillères de Marles, en France, l'économie a encore été trouvée plus grande : 0,08 fr. en moyenne, au lieu de 0,15 fr. avec la traction par chevaux [1].

[1] Le prix de revient de la traction électrique au siège n° 4 des mines de Marles a été établi de la manière suivante par M. Baily, ingénieur de cette compagnie (Cf. *Publications de la Société des Ingénieurs du Hainaut*, t. I, 3e fascicule, 1892, p. 216).

L'installation a coûté :

| | |
|---|---|
| Machine à vapeur | 10 562,50 fr. |
| Tuyauterie de vapeur, pièces accessoires, montage, etc. | 6 093,45 — |
| Dynamo du jour | 4 934,50 — |
| 630 mètres de câble conducteur isolé | 1 817,50 — |
| Montage de la partie électrique et frais divers | 3 306,31 — |
| Total pour la partie fixe de l'installation | 26 714,26 fr. |
| 1 400 mètres de voie électrique (fournitures, pose, etc.) à 5,70 fr. | 7 980,00 — |
| 3 locomotives | 19 500,00 — |
| Total général | 54 194,26 fr. |

La dépense journalière s'établit comme il suit :

| | |
|---|---|
| Amortissement du capital : $\frac{54\,194{,}26 \text{ fr.}}{10 \text{ ans} \times 300 \text{ jours}}$ | 18,06 fr. |
| Combustible : 2 kg. par cheval et par heure (on brûle de l'escaillage), soit 800 kg. en 10 heures ou environ 1 t. à 5 fr. | 5,00 — |
| Salaires : | |
| 2 mécaniciens à 3,50 fr., 2 aides à 2,50 fr., 2 suiveurs de trains à 1,50 fr. + 20 p. 100 de primes | 18,00 — |
| Total | 41,06 fr. |

Elle remplace une dépense journalière de :

| | |
|---|---|
| Amortissement de 10 chevaux : $\frac{200 \text{ fr.} \times 10}{300 \text{ jours}}$ | 6,66 fr. |
| Nourriture : $\frac{2{,}70 \text{ fr.} \times 10 \times 7 \text{ jours}}{6 \text{ jours}}$ | 31,50 — |
| Salaires : | |
| 8 conducteurs à fr. 3,50 + 20 p. 100 de primes | 33,60 — |
| Total | 71,76 fr. |

soit en faveur des locomotives électriques une économie journalière de 30,70 fr. ou 42,5 p. 100.

Par tonne kilométrique, le prix de revient est de 0,084 fr. par locomotives et de 0,148 fr. par chevaux. En marchant avec des trains de 12 berlines à la vitesse de 3,46 m.

Digitized by Google

A ces avantages il faut joindre la possibilité d'aller chercher au loin une source d'énergie dans le cas où l'on ne peut se procurer du charbon à des prix assez bas, ce qui se présente fréquemment pour les mines situées dans les montagnes. L'exemple de nombreuses mines américaines en pleine prospérité dans les montagnes Rocheuses, au Colorado, en Californie, au Mexique, etc., où l'exploitation eût été à peu près impraticable sans le secours de l'électricité, montre toute l'importance qu'on doit attacher à ce mode d'exploitation et à la traction électrique qui en est un des éléments les plus importants.

Sur les chantiers de travaux publics, pour le transport des terres et des matériaux, dans le creusement des tunnels, etc., de petites locomotives analogues aux locomotives minières ont déjà été employées à diverses reprises, et leur usage deviendra plus fréquent à mesure qu'on en comprendra mieux la commodité et l'économie.

La construction d'un pont, d'une jetée, d'un bassin à flot, d'un canal, etc. se trouverait bien simplifiée si le travail nécessaire à l'exécution des fouilles, à la préparation du mortier, au transport des déblais et des matériaux, et éventuellement à l'éclairage, était fourni par une petite usine électrique temporaire. La traction électrique deviendrait ainsi de règle sur tous les grands chantiers.

On peut citer comme l'un des exemples les plus importants de ce genre d'applications l'installation électrique des travaux du port de Bilbao, exécutée par MM. Coiseaux, Couvreux et Allard [1].

**Premières applications.** — Sans revenir sur les types primitifs de locomo-

par seconde ou 12,5 km. à l'heure, chaque locomotive pourrait fournir, en charbon transporté,

$$\frac{0{,}450 \text{ t.} \times 12 \text{ berl.} \times 12{,}5 \text{ km.}}{2} \times 8 \text{ heures} = 270 \text{ t. kilométriques.}$$

Par tonne kilométrique, le prix de revient serait ainsi de $\frac{0{,}084 \times 243}{270} = 0{,}076$ fr., soit 50 p. 100 du prix du transport par chevaux.

On a à dessein négligé et considéré comme s'équilibrant tous les frais accessoires, tant pour les locomotives que pour les chevaux.

Il importe cependant de remarquer que les chevaux occasionnent des frais de nourriture importants les jours de fête et de chômage ; ces frais deviennent même une lourde charge en temps de grève.

La locomotive électrique procure aussi une économie de personnel. Lorsque l'exploitation a lieu à 2 km. du puits, il faut à l'ouvrier une demi-heure pour se rendre à son travail et une demi-heure pour en revenir. A la vitesse de 9 km., les 2 km. sont franchis en 2/9 d'heure ; pour l'aller et le retour l'ouvrier aura donc économisé 1 h. — $\frac{2}{9} \times 2$, soit une demi-heure, et il sera moins fatigué. Cette économie de temps se répétant pour 800 personnes représente 400 heures ou 50 journées, qui, à raison de 4 francs, constituent une économie journalière de 200 francs, à laquelle vient s'ajouter une augmentation de production de $\frac{1/2 \text{ heure}}{8 \text{ heures}} = 1/16$ ou 6 p. 100.

Lorsqu'on a installé la traction électrique dans les mines allemandes citées plus haut, on a constaté également des réductions de dépenses variant de 25 à 33 p. 100 ; par exemple, dans la mine de Hohenzollern, le coût de la traction, qui était de 0,125 fr. par chevaux, s'est abaissé à 0,084 fr.

[1] Voir la *Notice* spéciale rédigée par ces auteurs.

Digitized by Google

tives minières ou industrielles mentionnés plus haut dans l'Historique, nous rappellerons seulement que les premières applications en ont été faites en Europe par la maison *Siemens et Halske*, dans les mines de Zaukerode et de Neu-Stassfurt, en 1882, puis, l'année suivante, dans celles de Paulus-Hohenzollern, près Beuthen ; la figure 2 (p. 4) donne une idée de ces anciennes locomotives[1]. En Angleterre, *Reckenzaun* imagina, peu de temps après, des locomotives à accumulateurs dont nous parlerons plus loin.

En France, les constructeurs n'ont suivi que fort lentement cet exemple : c'est en 1890 seulement que fonctionnèrent les premières locomotives des mines de Marles (siège n° 4), étudiées par M. *Baily* et M. *Neu*, et en 1893 que fut cons-

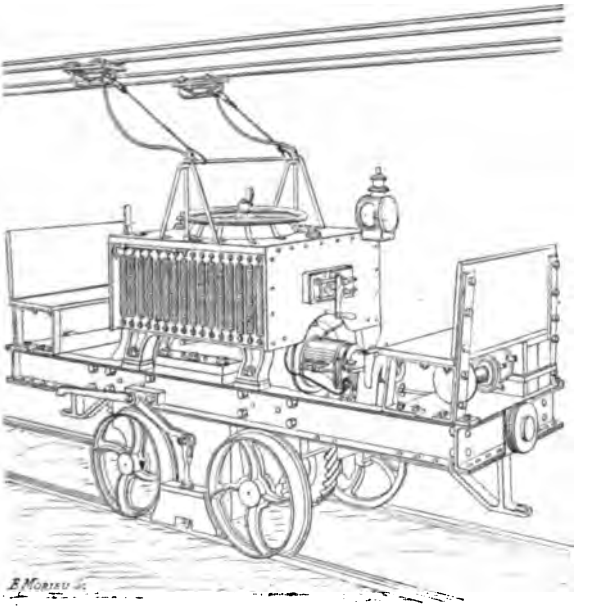


Fig. 430. — Locomotive des mines de Marles, premier type.

truit par M. *Hillairet* le petit tracteur électrique des usines de ciment Thorrand et Cie, de Voreppe [2].

Les locomotives du siège n° 4 des mines de Marles, encore en service aujourd'hui, sont formées chacune, comme le montre la figure 430, d'un châssis à deux essieux, portant par des équerres, avec interposition de semelles de bronze, un moteur Edison de 10 à 12 chevaux, type supérieur ; l'arbre moteur, parallèle à la voie, commande par engrenages un arbre parallèle, situé au-dessous et qui actionne par roues d'angle hélicoïdales les deux essieux. La régulation de vitesse est faite au moyen d'un rhéostat à boudins, placé à cheval sur le moteur et

[1] Pour plus de détails sur la traction électrique dans les mines allemandes, voir une communication de M. Karl Eiters, analysée dans la *Revue Universelle des Mines*, 1891, p. 191.

[2] *Génie civil*, 1893.



Digitized by Google

commandé par un volant; le mécanicien peut manœuvrer celui-ci de l'une ou l'autre plate-forme et a sous la main des leviers d'interruption et de changement de marche. Les dimensions de cette petite machine sont : longueur, 2 m. ; largeur, 0,75 m. ; hauteur, 1,75 m. ; l'empattement est de 0,60 m. seulement pour permettre le passage dans les courbes de petit rayon. L'ensemble pèse 1 600 kg. et a dû être lesté.

Cette locomotive permet de remorquer, sur des rails de 10 kg., 25 berlines de 700 kg. chacune, à la vitesse de 8 km : h., en palier; à la vitesse de 16 km : h., elle remorque un train équivalent à ceux que traine un cheval, et développe une puissance égale à celle de 5 chevaux vivants. La prise de courant se

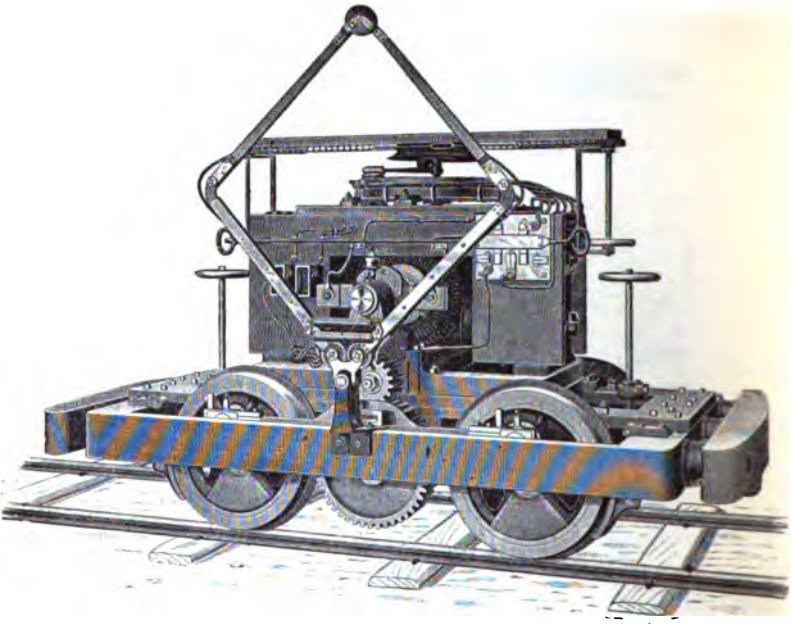


Fig. 431. — Premier type de locomotive Thomson-Houston des mines Erie (1889).

fait par des frotteurs circulant le long de deux lignes aériennes formées de vieux rails de 7 kg.

La plus importante des premières locomotives industrielles installées dans notre pays a été la petite machine improvisée en six semaines, à la fin de 1893, par M. *Hillairet* pour le service de l'embranchement minier de Montmartre à la Béraudière [1], près Saint-Etienne. Ce tracteur est formé d'un ancien wagon lesté de la Compagnie P.-L.-M. à deux essieux, auquel on a adapté un moteur bipolaire ordinaire de 30 chev. ; la faible vitesse des trains (8 km : h.) a rendu nécessaire l'emploi d'une double transmission, formée d'un train d'engrenages

[1] La traction électrique a été adoptée sur cet embranchement par M. Baudry, ingénieur en chef de la Compagnie P.-L.-M., à la suite de tassements du sol qui avaient rendu nécessaire le boisage sur 150 m. d'un des deux souterrains parcourus par la ligne; ce boisage ne laissait plus un passage suffisant pour les locomotives à vapeur.

Digitized by Google

à chevrons et de deux chaînes de Galle à maillons pleins attaquant les deux essieux. Un embrayage magnétique de Bovet permet de débrayer l'engrenage aux descentes. Cette locomotive pèse 15 t. et donne un effort de traction de 1 500 kg. à la jante, à la vitesse de 6 km : h. ; elle remorque à cette vitesse des trains de 9 wagons vides sur des rampes de 14 mm. par mètre [1].

Le courant produit par une petite station génératrice est transmis par un troisième rail, convenablement isolé, placé le long et en dehors de la voie. Cette installation fonctionne d'une manière satisfaisante depuis janvier 1894, et l'exploitation se fait régulièrement avec 12 à 15 trains chaque jour dans chaque sens.

En Amérique, la première locomotive minière, due à *Schlesinger*, a été installée en 1887 dans les mines de charbon de Lykens Valley (Pennsylvanie) [2] ; elle

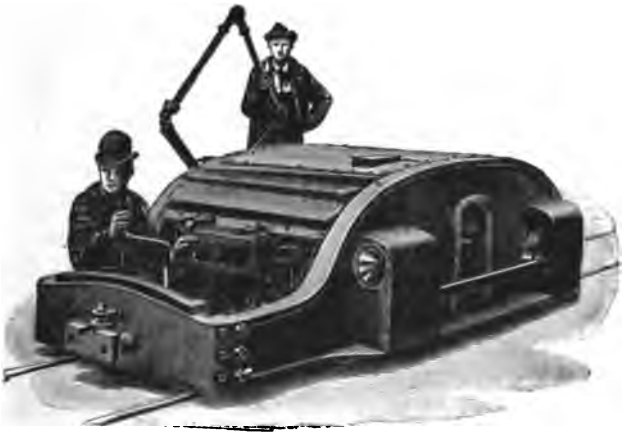


Fig. 432. — Locomotive Thomson-Houston en dos de tortue (Terrapin back), type 1891, à un seul moteur.

dépassait de beaucoup en importance toutes celles construites jusque-là, car elle ne pesait pas moins de 15 tonnes et trainait des trains de 10 à 21 voitures, pesant de 50 à 100 t., sur une ligne de 10 km. de longueur ; la prise de courant se faisait sur une ligne aérienne formée de vieux rails. Le moteur, de l'ancien type Gramme, était monté sur un truck à deux essieux couplés par bielles.

C'est suivant des dispositions analogues que fut établie en 1889, pour la mine d'anthracite « Erie » de la Hillside Coal Co. (Pennsylvanie), la première locomotive minière de la Compagnie *Thomson-Houston* (fig. 431). Cette locomotive, pour voie de 0,95 m., avait une puissance de 40 chev. D'autres semblables furent mises en service peu de temps après à la mine « Winter Quarters » (Utah) et dans plusieurs autres mines américaines.

[1] Pour tous les détails, nous renvoyons aux articles originaux : *Revue générale des chemins de fer*, octobre 1894, et *Bulletin de la Société des Électriciens*, mars 1895.

[2] Voir sur les premières installations de traction électrique dans les mines américaines les communications de MM. H. C. Spaulding, J. S. Doe, F. A. Pocock à l'*American Institute of Mining Engineers*, 1890-1891, et une intéressante étude de M. E. Masson dans la *Revue Universelle des Mines*, t. XVI, 1891. — Sur la mine Erie, voir *The Colliery Engineer*, novembre 1889.

Digitized by Google

Lorsque survint, en 1891, l'important perfectionnement des moteurs de tramways auquel nous avons fait allusion plus haut (p. 151), les constructeurs américains modifièrent en conséquence leur matériel minier et adoptèrent les types décrits ci-dessous. La première machine qui marque nettement ce changement d'orientation est la locomotive basse dite « Terrapin back » (en dos de tortue) (fig. 432), construite par la Compagnie Thomson-Houston.

Le tableau suivant fournit une idée de la puissance croissante donnée aux locomotives minières pendant cette première période :

| DATE | INSTALLATION | LOCOMOTIVE | | | POIDS du train remorqué en tonnes. |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Poids en tonnes. | Puissance en chevaux. | Vitesse en km : h. | |
| 1882 | Zaukerode. . . . | 1,6 | 4,5 | 10 | 13,5 |
| 1883 | Hohenzollern . . | 2 | 5,6 | 9,3 | 9 |
| 1887 | Lykens Valley. . | 15 | 40 | 10,6 | 100 |
| 1889 | Erie . . . . . | 5,5 | 40 | 9,3 | 107 |
| 1890 | Marles. . . . . | 1,6 | 12 | 8 | 17,5 |
| 1893 | La Béraudière . . | 15 | 30 | 9 | » |

Il a été fait, en dehors des mines, bien d'autres essais de traction industrielle, qui présentent moins d'intérêt et que nous croyons, par suite, inutile de citer ici ; du reste, il serait difficile d'en dresser une liste exacte. Rappelons seulement l'application faite dès 1880, à la blanchisserie de Breuil-en-Auge, d'une locomotive à accumulateurs (due à MM. Dupuy et Reynier) au relevage et au transport des toiles étendues sur pré (voir p. 7).

**Construction des locomotives industrielles.** — Les tracteurs qu'on emploie dans les mines et pour les autres applications analogues doivent être considérés à part, car ils peuvent être établis d'après des principes plus variés suivant les circonstances que les locomotives de chemins de fer.

Tout d'abord, la locomotive industrielle ne peut, en général, être utilisée elle-même pour le transport des matériaux, qui se fait dans des wagonnets spéciaux préalablement chargés; il n'y a d'exception que pour les petits tracteurs d'usine destinés au transport de colis ou d'objets peu encombrants sur de faibles parcours; les figures 450 et 451 donnent des exemples de ces engins.

En second lieu, les chemins de fer miniers ou industriels sont ordinairement à voie très étroite, ce qui ne permet pas toujours de loger entre les roues un moteur suffisant. On peut donc être conduit à placer les moteurs au-dessus du truck, et, lorsque la puissance nécessaire est faible, en profiter, d'après les considéra

Digitized by Google

tions développées plus haut (p. 99), pour n'employer qu'un seul moteur, commandant à la fois les deux essieux.

Enfin, les vitesses de marche étant beaucoup moins élevées que sur les voies ordinaires, l'emploi des engrenages à double réduction ou de la vis sans fin devient très fréquemment nécessaire (les coefficients de réduction sont le plus souvent de 1 : 8 à 1 : 15, suivant les cas, au lieu de 1 : 4 à 1 : 6 sur les tramways).

Les petites locomotives ainsi constituées se prêtent donc à des dispositions très diverses, et l'on peut facilement les improviser sans matériel spécial, comme on l'a vu par les exemples cités plus haut. Mais nous ne nous occuperons plus ici que des appareils constituant des types rationnels, reproduits plusieurs fois par le même constructeur.

On peut actuellement distinguer pour ces locomotives deux modes principaux de construction, suivant que les moteurs sont ou non logés dans le truck.

1° *Les locomotives à moteurs compris dans le truck* sont constituées exactement comme les petites locomotives de chemins de fer mentionnées plus haut, avec la différence qu'on peut être conduit, comme nous venons de le dire, à supprimer la caisse pour réaliser des machines très basses et à remplacer dans certains cas la simple réduction par la double réduction. Tant que la largeur de voie ne descend pas au-dessous de 0,75 m., cette disposition constitue la solution la plus simple, lorsqu'on dispose de moteurs de dimensions appropriées. Le nombre des essieux moteurs peut varier de 2 à 4, suivant la puissance. L'exemple des automobiles du réseau de la Haute-Silésie (p. 371) montre qu'on peut, sur des voies de 0,785 m., réaliser de cette façon des puissances atteignant jusqu'à 100 chev. Nous indiquerons plus loin avec détails (t. II, p. 22 et 37) les dispositions spéciales qui peuvent faciliter l'obtention de ces grandes puissances.

Ces locomotives basses, dont les figures 432, 440, 441, 443 donnent des exemples, sont très avantageuses au point de vue de la stabilité et de la facilité de circulation, car elles laissent tout l'espace nécessaire pour placer un fil de trôlet dans les galeries de mines même de faible hauteur.

Digitized by Google

2° *Les locomotives à moteurs surélevés* sont formées d'un châssis portant un ou plusieurs moteurs. Dans le cas où l'on emploie deux essieux seulement, on peut, pour les faibles puissances, se contenter d'un seul moteur à arbre parallèle soit à la voie, soit aux essieux. Dans la première disposition, qui a été employée par la maison Siemens et Halske, par les mines de Marles (fig. 430 et 434) et par divers constructeurs, l'arbre du moteur ou un contre-arbre attaque à ses extrémités, par deux roues d'angle, des roues dentées commandant respectivement les deux essieux, soit directement, soit par un train d'engrenages cylindriques ou par des chaînes. Ce dispositif convient particulièrement aux voies étroites.

Dans le second mode de construction, dû à van Depoele et appliqué au début par la Compagnie Thomson-Houston dans plusieurs mines, le châssis est à deux essieux, accouplés par bielles, et l'un d'eux est actionné au moyen d'engrenages par un moteur placé au milieu du truck (fig. 431).

L'emploi de plusieurs moteurs devient nécessaire lorsqu'il s'agit de réaliser de grandes puissances sur des voies étroites, surtout si l'on doit recourir à la double réduction, à moins qu'on ne loge les deux trains d'engrenages hors des roues, comme nous l'indiquons plus loin. On affecte alors un moteur à chaque essieu et l'on solidarise toutes les roues par des bielles ; les essieux peuvent encore être au nombre de 2 à 4. On emploie quelquefois aussi la suspension sur deux bogies; c'est ainsi, par exemple, qu'ont été construites les locomotives Sperry et celles de la Cie Julien décrites plus loin.

L'accouplement des roues est nécessaire dans toutes les locomotives de mines pour prévenir le patinage sur les rails toujours couverts d'une couche d'humidité ou de poussière de charbon glissante. Il est bon, du reste, de disposer des boîtes à sable aux deux extrémités.

Les châssis doivent être construits très solidement, comme pour les locomotives de chemins de fer, et lestés par un fort platelage en tôle ou par des saumons de fonte, afin de réaliser l'adhérence nécessaire malgré la présence d'eau ou de charbon sur les rails.

Les moteurs peuvent être soit suspendus d'une façon analogue à celles décrites plus haut pour les moteurs de tramways (voir chap. IV), soit fixés simplement sur le truck et reliés aux essieux

Digitized by Google

par des trains d'engrenages ; les flasques qui portent les arbres de renvoi sont alors articulées autour de l'arbre moteur et de l'essieu, qu'elles embrassent par des paliers. Cette dernière solution assure une suspension complètement élastique.

Quelles que soient les dispositions adoptées, il faut avoir soin d'employer des moteurs étanches qui soient bien protégés contre les agents atmosphériques, l'humidité et les suintements d'eau ; souvent même on recouvre toute la locomotive d'une enveloppe fermée en tôle ; mais, en général, comme les moteurs sont protégés par eux-mêmes, cette enveloppe n'est pas nécessaire, et il vaut même mieux, dans l'intérêt de la ventilation des moteurs et des rhéostats, et pour faciliter les visites des organes, laisser le truck partiellement découvert.

La locomotive de la figure 436, par exemple, n'est couverte qu'au point où il est besoin de la protéger contre la pluie ; elle reste accessible dans toutes ses autres parties. Celle de la figure 438 est protégée plus complètement par un toit léger qui ne gêne en rien la visite.

Pour éviter la nécessité de plaques tournantes aux extrémités des lignes, il est bon que les machines puissent marcher indifféremment dans les deux sens. Aussi les fait-on généralement symétriques, en disposant à chaque extrémité un banc pour le mécanicien et des leviers commandant les freins et le régulateur de marche ; ce dernier organe est identique à ceux des tramways ; le levier ou la manette qui le commande peut présenter des formes spéciales pour mieux mettre l'appareil à la main du mécanicien.

Il est particulièrement nécessaire dans les mines d'éviter les tensions trop élevées, par suite du danger que court le personnel de venir en contact avec les fils de distribution ; à ce point de vue, la distribution à double fil aérien présente de réels avantages. Il ne faut pas dépasser 500 volts et il serait prudent de se tenir à 300. Quant aux courants alternatifs, ils ne sont pas à recommander pour ce genre d'application, car il serait alors dangereux de dépasser 250 volts entre conducteurs, ce qui exigerait des canalisations sensiblement plus coûteuses.

**Description de quelques locomotives industrielles.** — Pour

Digitized by Google

compléter ces indications générales, nous citerons quelques-uns des matériels les plus intéressants employés dans les mines.

Les locomotives de la maison *Siemens et Halske* employées dans les mines de Zaukerode, Neu-Stassfurt, Hohenzollern, peu différentes les unes des autres, sont analogues à celle décrite plus haut (p. 4), avec arbre moteur parallèle à la voie et attaquant les deux essieux par des engrenages coniques.

Fig. 433. — Locomotive Siemens et Halske des mines d'Ashio (Japon).

Les résistances de démarrage sont placées sur les côtés de la locomotive ; le mécanicien, assis sur un banc à l'une ou l'autre extrémité (la machine est symétrique), a sous la main deux leviers, qui commandent l'un l'appareil régulateur de marche et l'autre les freins.

A Neu-Stassfurt, pour citer un exemple de ces machines, le moteur a une puissance de 10 chev. ; la locomotive a 0,950 m. de largeur, 1,50 m. de hauteur et 2,67 m. de longueur entre tampons; l'empattement est de 0,48 m. et la voie de 0,628 m.; le diamètre des roues est de 0,350 m. Chaque machine pèse 2 174 kg. et développe un effort de traction de 180 à 500 kg. Elle remorque, à la vitesse de 11 km : h., des trains de 17 berlines pesant 20 t. environ.

Des types plus puissants ont été construits depuis pour les mêmes mines.

Une application semblable a été faite dernièrement par la maison Siemens aux mines de cuivre d'Ashio (Japon) : la locomotive de 5,5 t. avec moteur de 15 chev. (fig. 433) développe un effort de traction de 475 kg. à la vitesse de 3 m. par seconde ; elle est munie d'un frein ordinaire et d'un frein électrique, et remorque des trains sur un parcours de 0,8 km. entre la mine d'Ashio et la fonderie de Seren, sur une voie de 0,610 m. présentant des rampes de 70 mm : m. et des rayons de 10 m.

Des machines analogues ont été fournies aux mines de Kübeckschacht, près Alt-Kladno (Autriche), et de Gellivara (Suède).

D'autres grandes maisons allemandes ont, dans ces derniers temps, construit des machines du même genre; la Société *Schuckert*, en particulier, en a installé dans les mines de charbon de Bockwa, les mines de fer d'Esch-sur-l'Alzette, etc.

En France, nous devons signaler tout particulièrement les nouvelles locomotives à voie étroite (0,60 m.) des mines de Marles, construites par la maison *Lebrun*, de Nimy, pour le siège n° 5, en 1895.

Ces nouvelles locomotives, étudiées par M. Baily, ingénieur des mines de Marles, à qui nous devons les renseignements ci-après, diffèrent des précédentes, établies au siège n° 4 et décrites plus haut, par leur puissance, qui a été doublée, et par quelques modifications de construction. La transmission par vis sans fin, qui avait été essayée d'abord, a été abandonnée au profit des dispositions que représente la figure 433.

Digitized by Google

La machine est formée d'un châssis à 2 essieux portant un moteur à induit Gramme, plus facile à réparer que l'ancien induit Edison, développant une puissance de 15 chev. à la vitesse normale de 1 000 tours par minute, qui correspond à une marche de 14 km : h. La vitesse peut atteindre au maximum

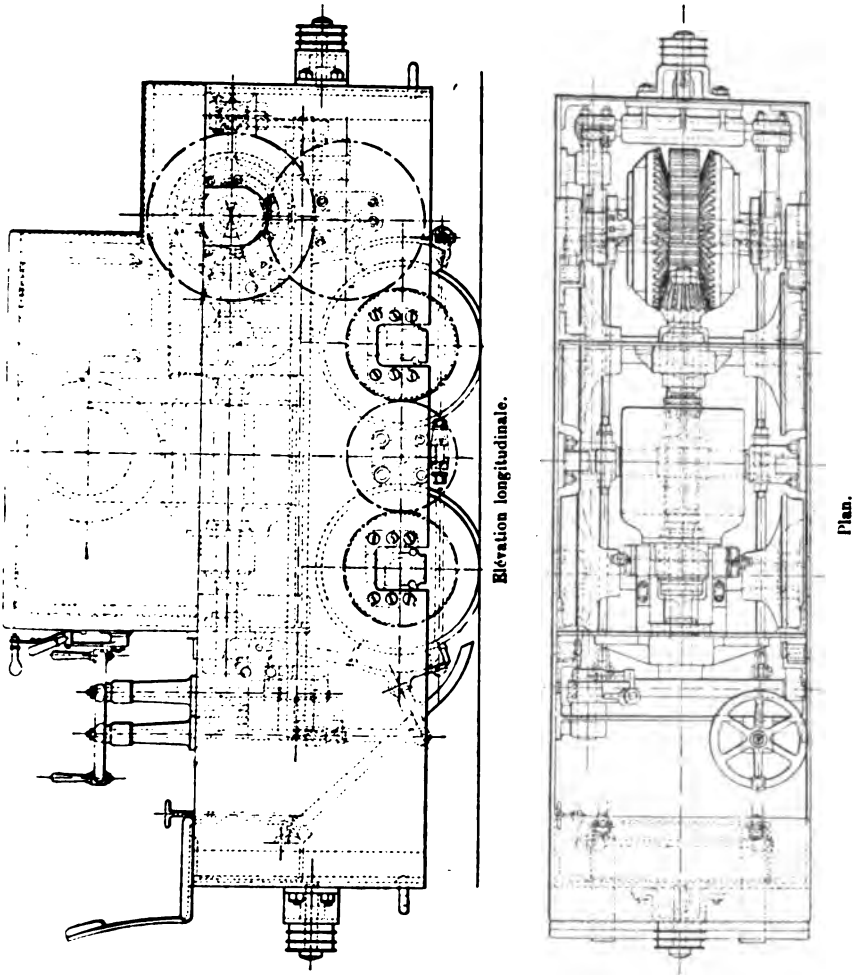



Fig. 434. — Locomotive des mines de Marles, nouveau modèle (échelle 1/50).

16 km : h. L'arbre du moteur, parallèle à la voie, attaque par un pignon conique l'une ou l'autre de deux roues d'angle folles sur des manchons calés sur un arbre de renvoi; ce dernier commande par un train d'engrenages ordinaire l'un des essieux; l'autre est accouplé par bielles. L'arbre de renvoi est embrayé avec l'une ou l'autre des roues par des bagues en fonte serrées par un coin qu'on manœuvre à l'aide d'un volant de changement de marche.

Grâce à ces dispositions, on peut laisser le moteur tourner constamment,

Digitized by Google

même pendant les arrêts, et démarrer sans rhéostat, par un embrayage progressif, en profitant de la force vive de l'armature ; il en résulte une certaine économie d'énergie[1]. Le rhéostat sert seulement à la régulation de la vitesse en marche.

Le mécanicien, assis sur la plate-forme d'avant, a sous la main l'interrupteur permettant de couper le courant, la manette du rhéostat servant de régulateur, le volant actionnant le changement de marche, un autre volant agissant sur un frein à vis et enfin le levier de commande de la sablière.

Ces machines pèsent 3 200 kg. et circulent sur une voie en rails de 16 kg., posés sur traverses; elles sont alimentées à 500 volts par une station génératrice de 500 chev. servant aux divers usages de la mine; la prise de courant de chaque locomotive est faite par deux trôlets à trois galets roulant le long de deux fers en I de 8,75 kg. portés par des supports en bois; elles remorquent à la vitesse moyenne de 14 km : h. des trains de 30 wagonnets chargés chacun d'une 1/2 tonne de charbon, doubles de ceux du siège n° 4; le courant absorbé dans ces conditions est de 35 à 38 ampères, et l'effort utile obtenu est équivalent à celui de 10 chevaux vivants. Ces locomotives sont du reste réservées aux transports collecteurs et les chevaux restent employés pour le service des voies secondaires où les locomotives ne seraient pas avantageuses économiquement.

Leur prix d'achat est de 7 000 fr.

Cette locomotive de Marles est un excellent exemple de machine bien conçue pour faible puissance et voie très étroite; on ne peut lui adresser qu'une critique, c'est de n'avoir qu'une suspension rigide, aussi bien pour le moteur que pour le châssis; l'emploi d'accouplements élastiques tels que ceux de Sperry (p. 115) permettrait de remédier utilement à cet inconvénient en plaçant des ressorts entre le châssis et les boîtes à graisse.

La *Société alsacienne de Constructions mécaniques* construit en France un excellent matériel de mines, analogue à celui de Siemens et Halske. Nous donnons comme exemple (fig. 435) les dessins d'une locomotive, analogue à celles des mines allemandes citées plus haut, qu'elle a récemment construite pour faire un service de va-et-vient dans une grande aciérie du Nord. La commande est faite par un moteur unique actionnant les deux essieux par engrenages et chaînes; l'appareil de régulation est du même type que celui de tramways, à réglage par rhéostat ; il permet la marche dans les deux sens, de même que la prise de courant à archet. Cette machine, d'une puissance de 6 chev., développe un effort de traction de 120 kg. à la vitesse de 10 km : h.

La même Société a établi récemment un type fort intéressant de locomotive à courants triphasés, prenant ces courants par deux petits archets (fig. 436); cette machine est actionnée par un moteur triphasé de 25 chev., type d'atelier, tournant à 960 tours : min. et commandant les essieux par engrenages et chaînes de Galle ; elle peut développer un effort de traction de 400 kg. environ à la vitesse de 12 km : h. Le moteur et la transmission sont enfermés dans une enveloppe close. Le châssis est en fonte et renforcé pour réaliser une adhérence suffisante; le mécanicien, assis de côté à l'une ou l'autre extrémité,

[1] On trouvera au chapitre de la *Régulation* (t. II, p. 277) plus de détails sur ce procédé de démarrage.

Digitized by Google

trouve à portée de sa main les manivelles du frein, du régulateur et de l'inverseur. La régulation se fait encore par rhéostat.

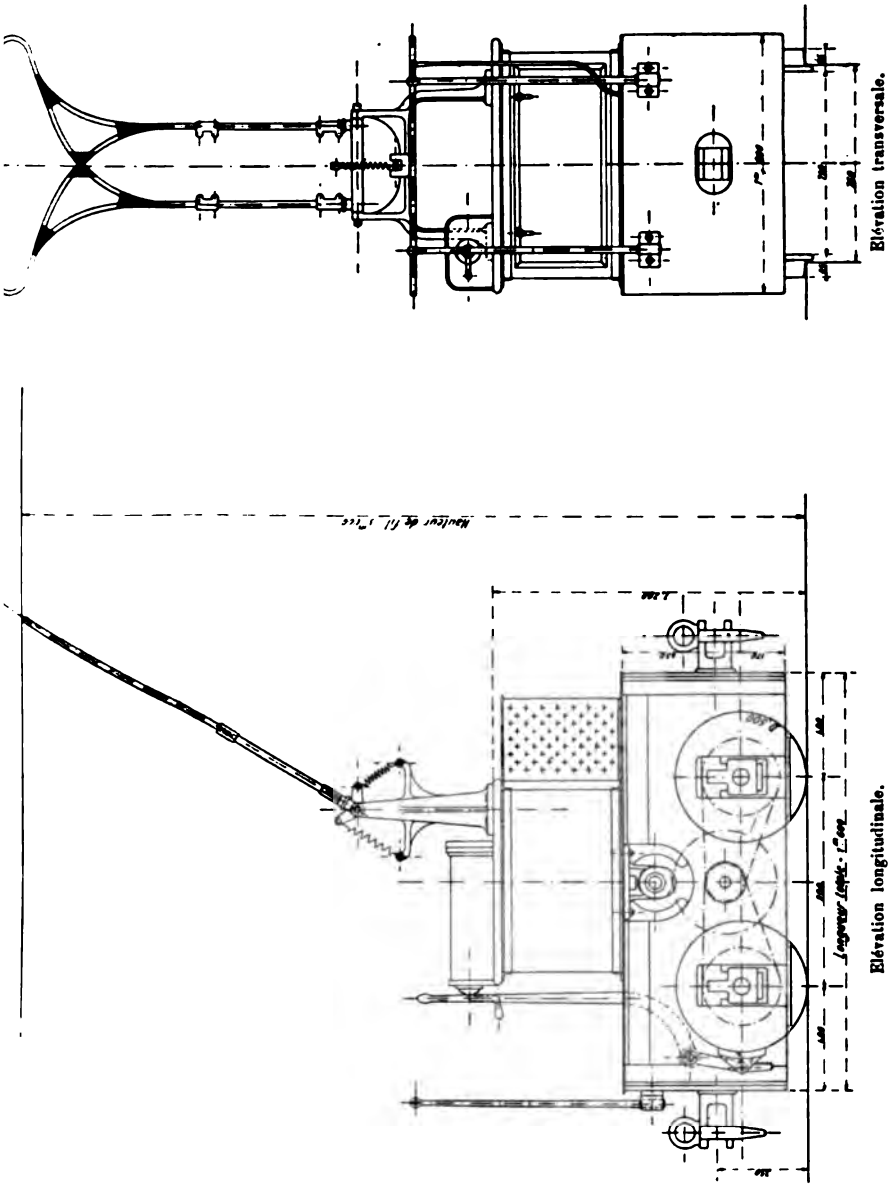



Fig. 435. — Locomotive minière à courant continu de la Société alsacienne de Constructions mécaniques (échelle 1/30).

En Belgique, plusieurs constructeurs ont établi des locomotives de mines, notamment la maison *Dulait* (*Électricité et Hydraulique*), de Charleroi, qui emploie pour ces appareils la transmission à vis sans fin. La machine qu'elle a

Digitized by Google

construite pour les mines du Grand Hornu, près Saint-Ghislain, pèse 4 t. et développe une puissance de 20 chev. ; elle remorque sur des rampes de 11 mm : m. à la vitesse de 5,4 km : h. une charge utile de 8 t. ; ses dimensions sont : longueur 2,20 m., largeur 0,92 m., hauteur 1,10 m., largeur de voie 0,45 m. La prise de

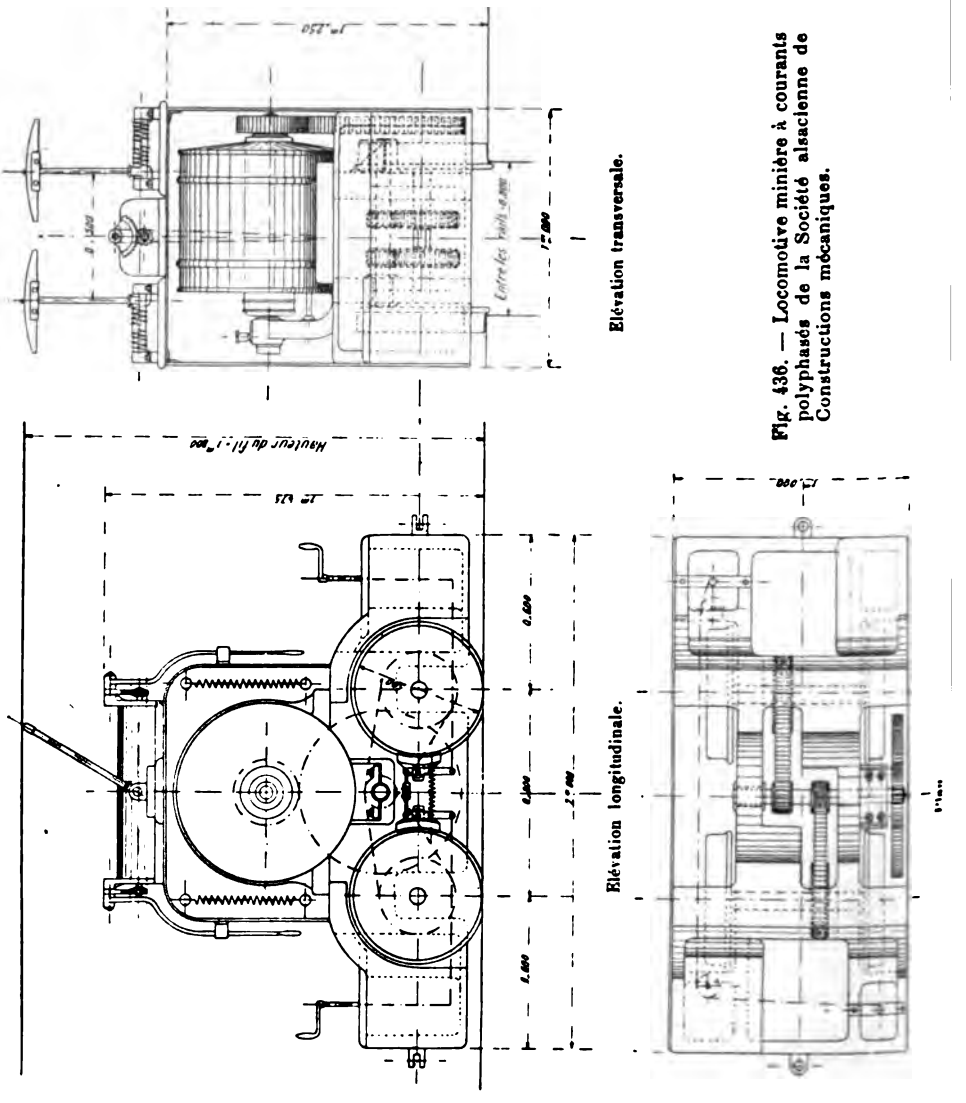


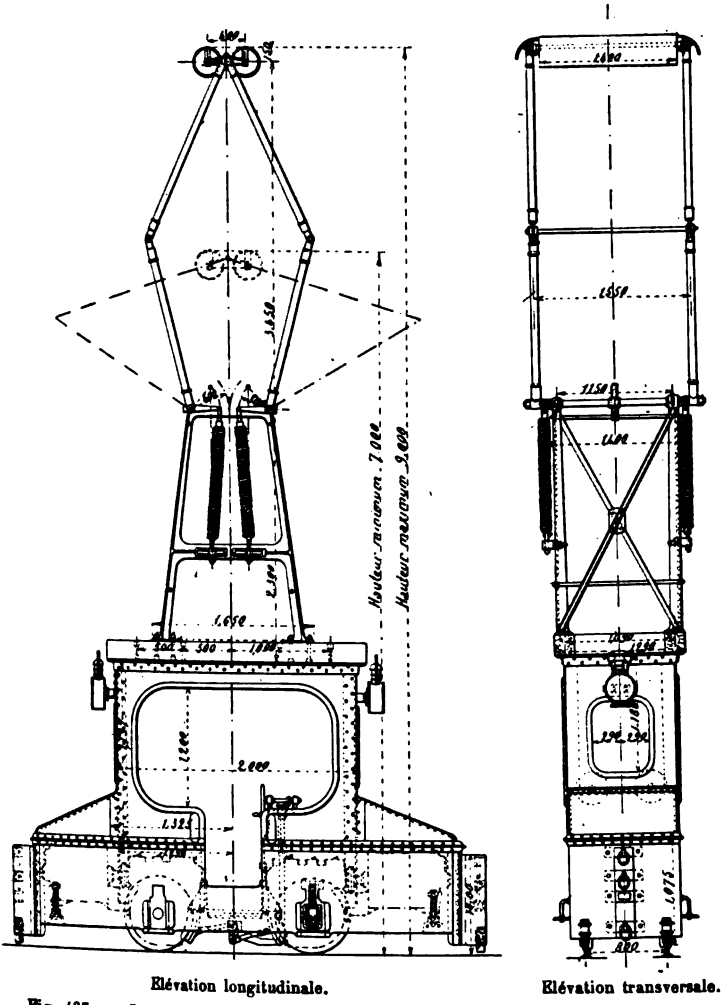

Fig. 436. — Locomotive minière à courants polyphasés de la Société alsacienne de Constructions mécaniques.

courant se fait par un gros rouleau en métal. Il n'y a qu'un seul moteur et les essieux sont accouplés par chaînes ou par bielles. Le prix de la machine est de 11 500 fr.

La même maison a construit pour les usines de Briansk (Russie) des machines analogues, mais plus puissantes, dont la figure 437 indique les dispositions. La

Digitized by Google

locomotive est à deux moteurs attaquant chacun un des essieux par vis sans fin. Elle est munie d'un appareil de prise de courant à rouleau de très grande hauteur, spécialement adapté au service extérieur, mais qui devrait naturellement être abaissé dans une mine ; cet appareil est intéressant comme exemple




Elévation longitudinale. Elévation transversale.

Fig. 437. — Locomotive industrielle des usines de Briansk (Russie) construite par la Société Dulait.

d'une semblable application. Les principales données de la machine sont : longueur 5,50 m., largeur 1,50 m., hauteur 3,15 m., largeur de voie 0,80 m. Elle circule sur des rampes de 48 mm., pèse 10 t., développe 100 chev. et remorque une charge utile de 17 t. à la vitesse de 10,8 km : h. Son prix est de 22 000 fr.

La maison *Ganz et Cie*, de Budapest, a débuté dans la traction électrique minière, en 1891, par la construction pour les mines de Bleiberg (Carinthie)

Digitized by Google

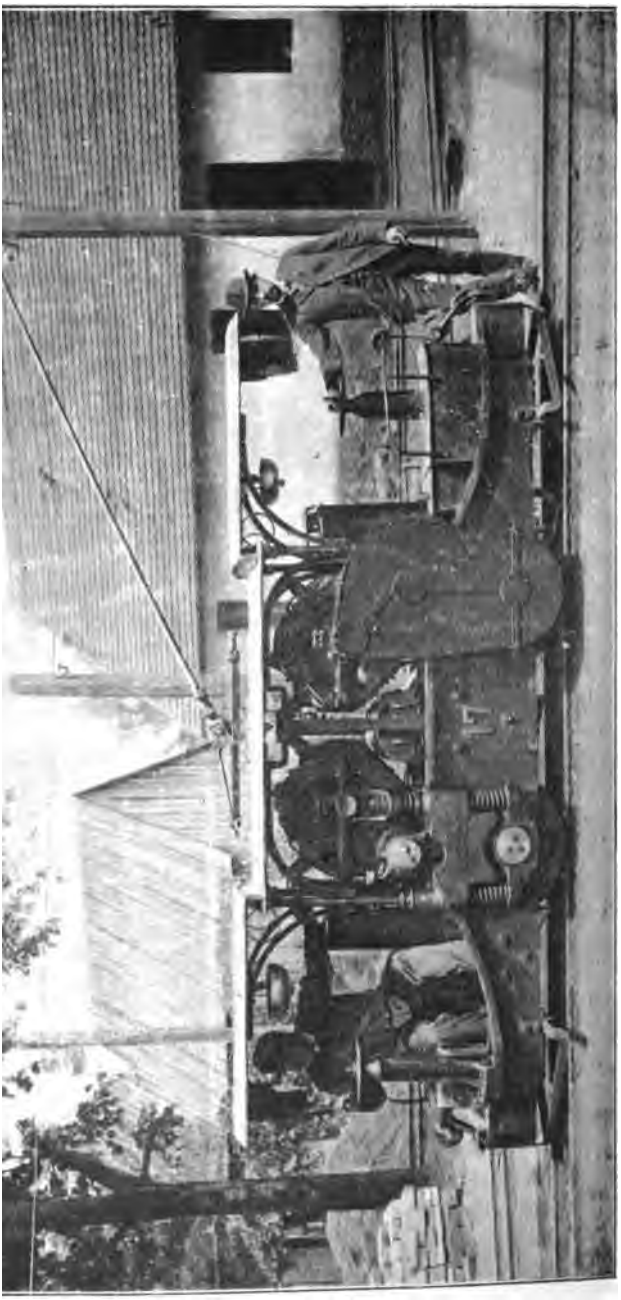
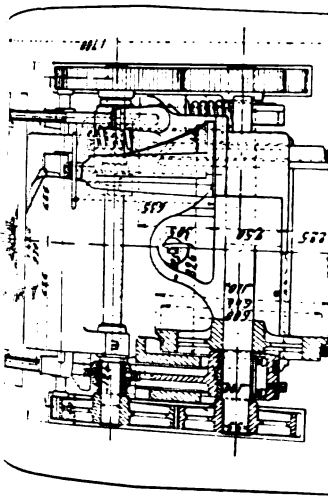
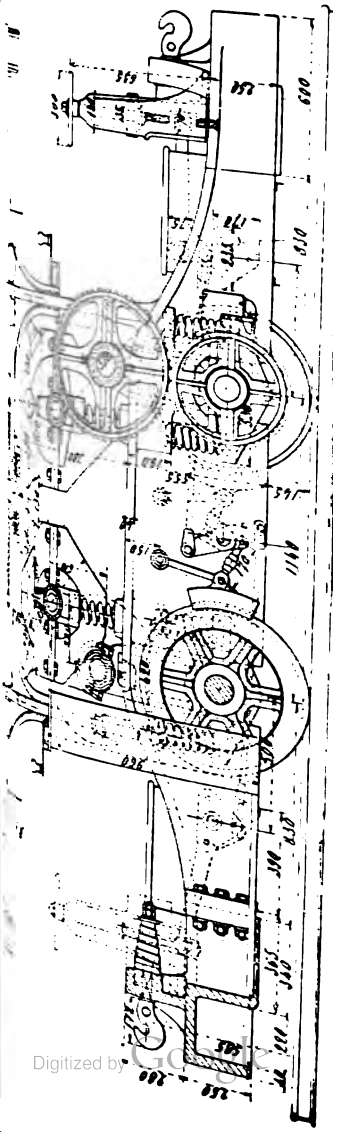


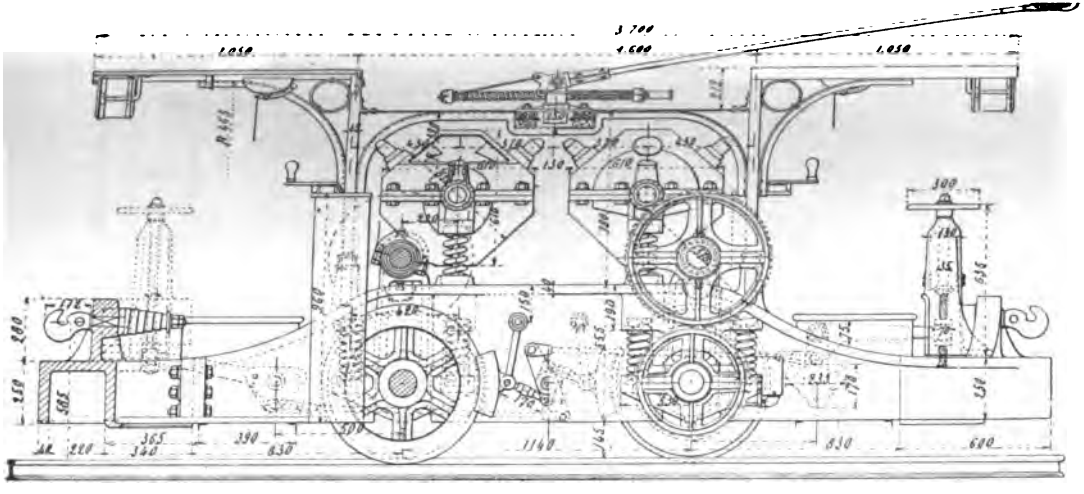
Fig. 138. — Locomotive Ganz des mines de Résiza. — Vue d'ensemble.



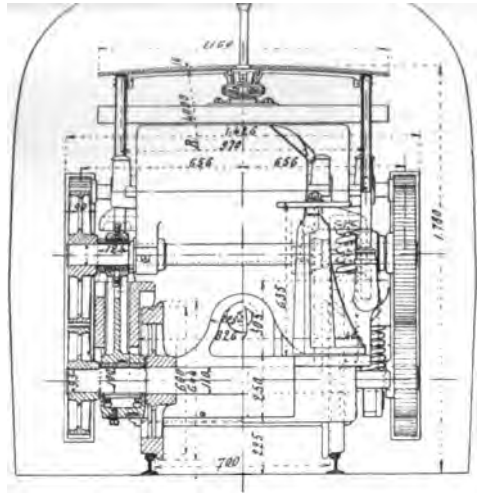


éressant de locomotive de faible puissance à moteur parallèle à

Digitized by Google



Elévation longitudinale.



Elévation et coupe transversales.

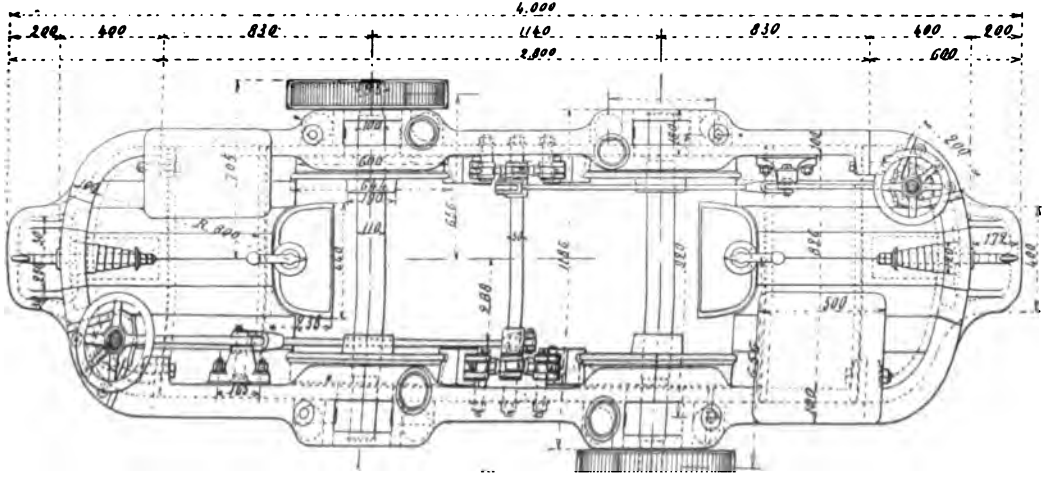


Fig. 438 *bis*. — Locomotive Ganz des mines de Résicza. — Détails.

Digitized by Google

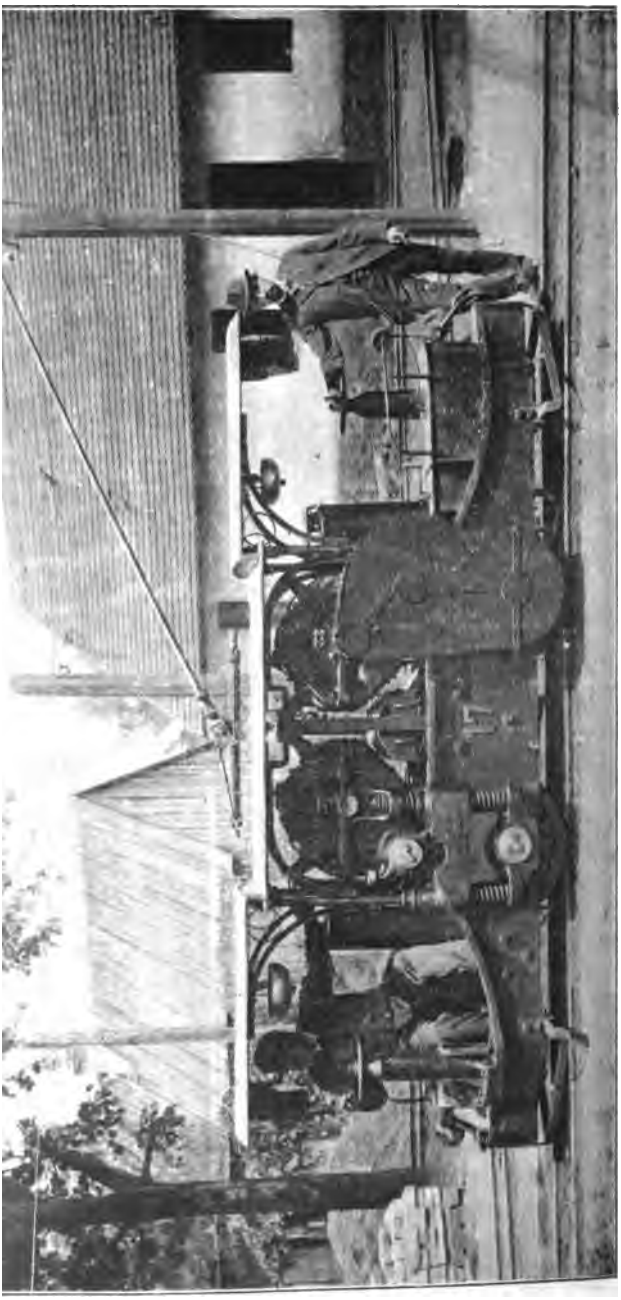
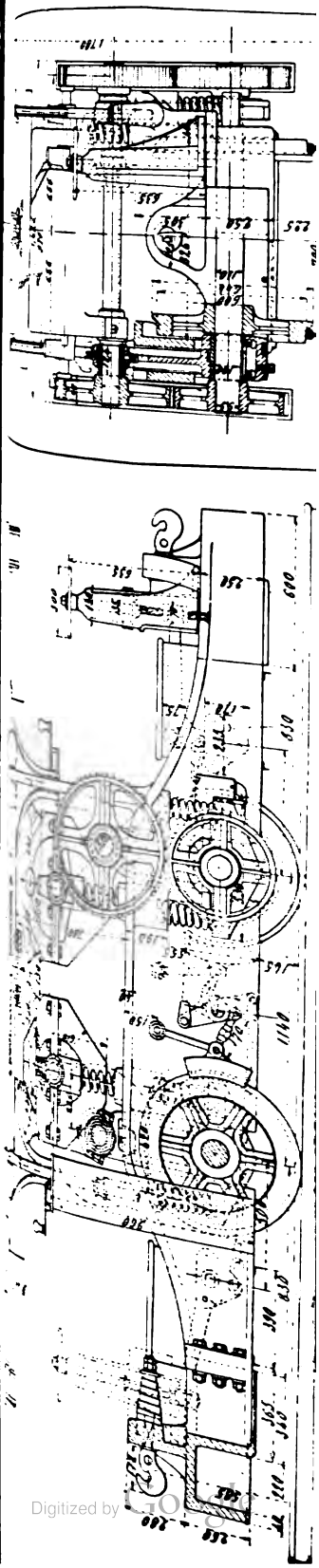
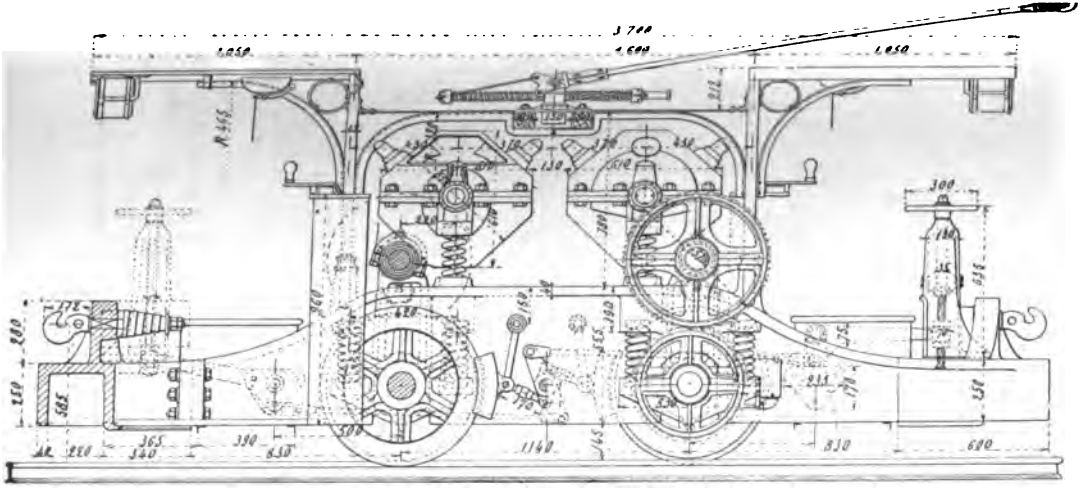


Fig. 138. — Locomotive Ganz des mines de Résiza. — Vue d'ensemble.

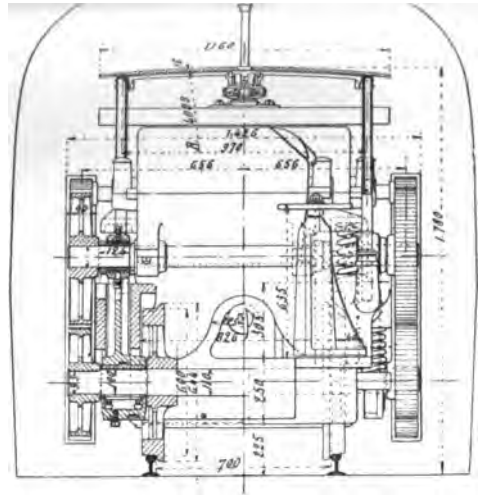


téressant de locomotive de faible puissance à moteur parallèle à

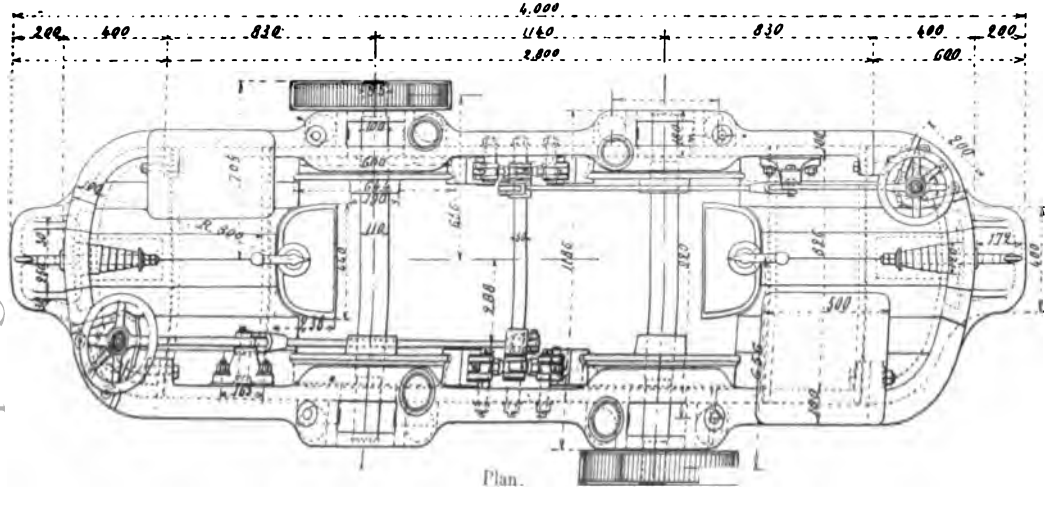
Digitized by Google



Elévation longitudinale.



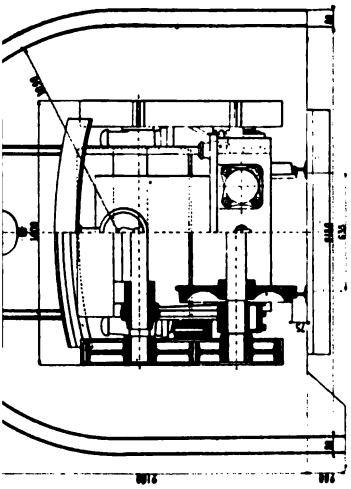
Elévation et coupe transversales.



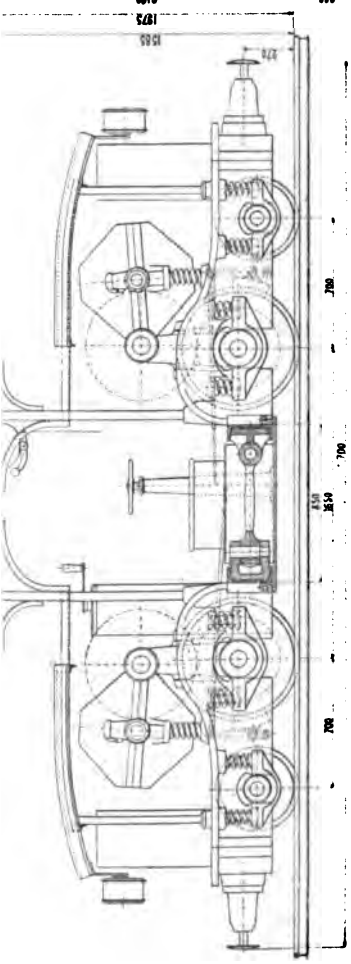
Plan.

**Fig. 438 *bis*. — Locomotive Ganz des mines de Résicza. — Détails.**

Digitized by Google



Élévation et coupe transversales.



Élévation longitudinale.

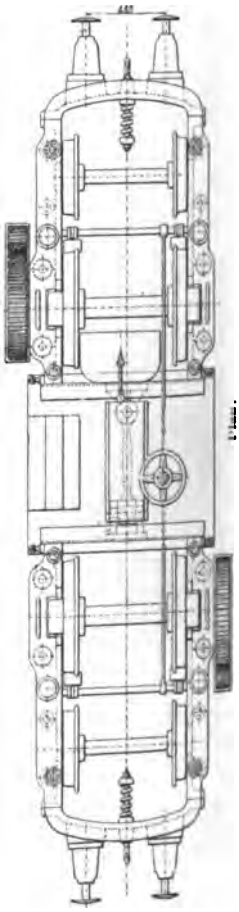
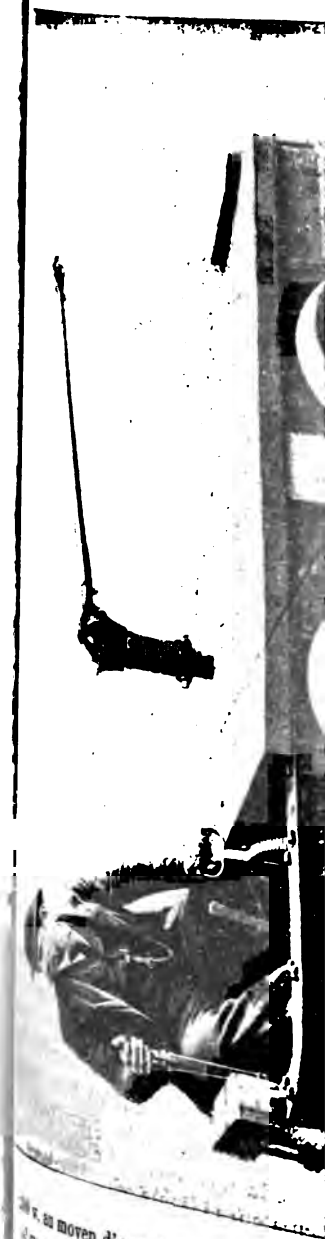


Fig. 439. — Locomotive Ganz des mines de Pálfalva.



Cette petite machine pesant 1 550 k



V, au moyen d'une double transmiss
n, seulement; les deux essieux sont
maison construit aujourd'hui des loc
roues, comprenant des types variés ap



Digitized by Google

la voie. Cette petite machine pesant 1 550 kg. est actionnée par une dynamo

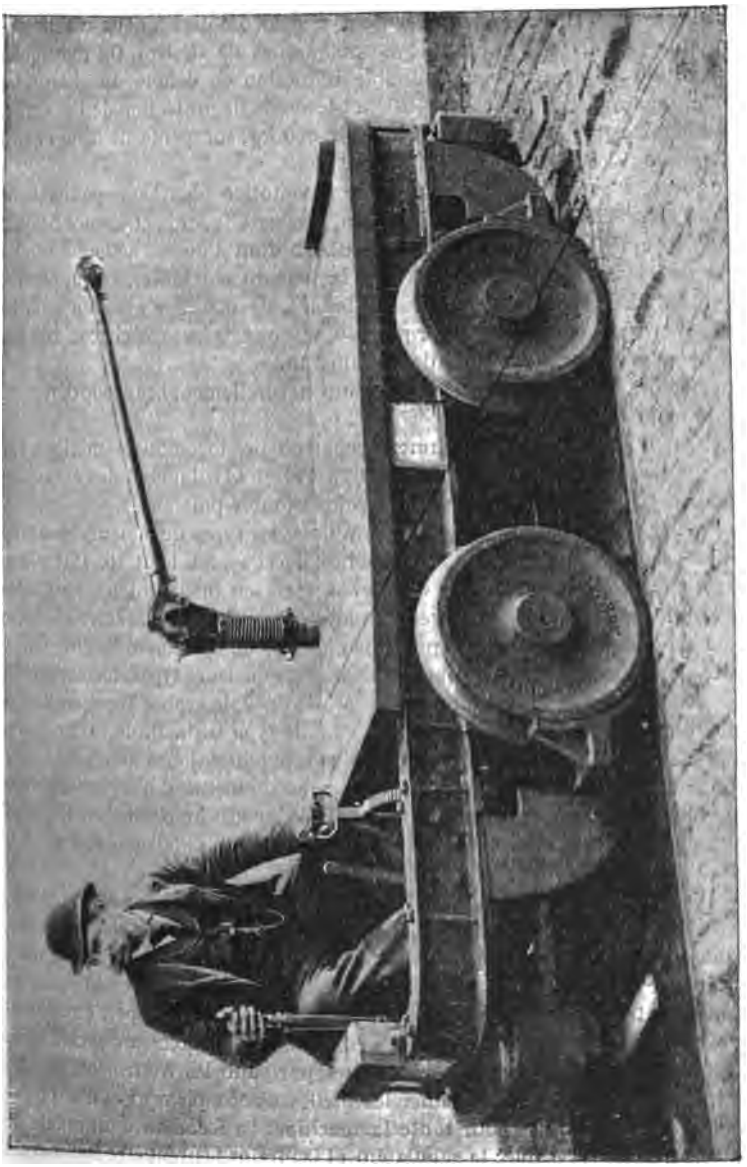


Fig. 440. — Locomotive de la General Electric Co., type T. M. M. 5 à roues extérieures.

de 2 000 w. au moyen d'une double transmission par vis sans fin; la voie est de 0,43 m. seulement; les deux essieux sont accouplés par chaînes.

Cette maison construit aujourd'hui des locomotives de forme moderne, très bien étudiées, comprenant des types variés applicables à tous les cas ordinaires



Digitized by Google

itation. Les figures 438 à 439 donnent deux exemples de ces types avec
s au dessus du truck; tous deux sont de 50 chev.

lgures 438 et 438 *bis* représentent une locomotive à deux essieux mo-
our voie de 0,70 m., employée aux mines de Résicza. On remarquera
sition des engrenages à double réduction en dehors du châssis, sur
nous reviendrons (t. II, p. 37), et le mode de protection de l'ensemble.
nachine peut traîner 40 berlines de 600 kg. sur pente de 5 mm : m. à
se de 5 km : h.

ure 439 représente un modèle de locomotive plus basse pour voie de
. en service aux mines de Pálfalva, Baglyasalja, etc., et formée de deux
accouplés ayant chacun deux essieux dont l'un est actionné par un
de 25 chev. Ces deux trucks sont facilement séparables, ce qui permet,
les charges à remorquer sont faibles, de marcher avec un seul. La
tive complète peut remorquer 40 wagonnets pesant chacun 800 kg.
sur une rampe maxima de 12 mm : m.

randes Compagnies américaines ont naturellement beaucoup développé
ranche de la traction.

*neral Electric Co.* notamment construit des locomotives minières par
hautes ou basses, dont les figures 440 et 441 donnent des exemples;
établit pour toutes largeurs de voie et toutes puissances.

certaines de ces machines, elle emploie des types de moteurs beaucoup
bles que les moteurs d'automobiles décrits plus haut (p. 191); dans
cas, ceux-ci ont pu être conservés, mais en modifiant les constantes
duire la vitesse. Nous jugeons, par suite, utile de reproduire ci-contre
eau complet des moteurs pour locomotives de la General Electric Co.

Compagnie a construit successivement plusieurs types, formant diffé-
classes : après les locomotives H. M. de 1889, le type « Terrapin back »
de tortue) ou P. L. M. de 1891, puis le type G. L. M. de 1892 et enfin
T. M. M. de 1892, ce dernier le plus répandu aujourd'hui.

ure 432 représente la locomotive « en dos de tortue »; c'est une machine
se, à un seul moteur du type à pôles conséquents avec armature Gramme
égale distance des deux essieux; la régulation se fait par rhéostat; la
est de 10 à 16 km : h.

ocomotives du type G. L. M. sont à un seul moteur placé également au
avec deux trains d'engrenages symétriques, chacun à double réduction,
nt respectivement les deux essieux. Les roues dentées d'essieu tour-
ntour de paliers fixés au châssis et sont reliées à l'essieu par un
ement élastique qui lui permet de se déplacer par rapport aux engre-
et au châssis. L'emploi de deux trains d'engrenages symétriques
e les efforts sur l'arbre moteur et par suite les frottements sur les
ets, et permet de supprimer les bielles d'accouplement et d'employer
pension élastique pour toute la machine. La locomotive est munie de
et de boîtes à sable; le régulateur et les freins peuvent être manœuvrés
ou l'autre plate-forme.

ocomotives T. M. M. sont à deux moteurs. Elles comportent un truck
e à celui des automobiles de tramways; on les construit à roues inté-
ou extérieures. La figure 441 représente une locomotive du premier
nunie de moteurs W. P. Elles sont établies pour des puissances variant



| Type | Rapport de réduction des engrenages. | Effort de traction en kg. | Diamètre des roues en mètres. | Tension aux bornes en volts. | Vitesse de l'induit en tours : m. | Puissance approximative en chevaux. | Poids sans les engrenages en kg. | Largeur de voie minima en mètres. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| N.W.P. 2 1/2 | 1 : 4,14 | 110 | 0,508 | 125, 250, 500 | 475, 400, 700 | 5, 4, 6 | 250 | 0,457 |
| L.W.P. 5 | 1 : 4,28 | 220 | 0,508 | 125, 250, 500 | 400, 700 | 8, 14 | 335 | 0,609 |
| N.W.P. 6 | 1 : 4,28 | 330 | 0,711 | 250, 500 | 375 | 15 | 543 | 0,762 |
| N.W.P. 12 | 1 : 4,78 | 550 | 0,711 | 250, 500 | 450, 475 | 22 | [illegible] | |

Digitized by Google

MOTEURS POUR LOCOMOTIVES DE LA GENERAL ELECTRIC CO.

| TYPE | COEFFICIENT de réduction des engrenages. | EFFORT de traction en kg. | DIAMÈTRE des roues en mètres. | TENSION aux bornes en volts. | VITESSE de l'induit en tours : m. | PUISSANCE approximative en chevaux. | POIDS sans les engrenages en kg. | LARGEUR DE voie minima en mètres. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| N.W.P. 2 1/2 | 1 : 4,14 | 110 | 0,508 | 125, 250, 500 | 475, 400, 700 | 5, 4, 6 | 250 | 0,457 |
| L.W.P. 5 | 1 : 4,28 | 220 | 0,508 | 125, 250, 500 | 400, 700 | 8, 14 | 335 | 0,609 |
| N.W.P. 6 | 1 : 4,28 | 330 | 0,711 | 250, 500 | 375 | 15 | 543 | 0,762 |
| N.W.P. 12 | 1 : 4,78 | 550 | 0,711 | 250, 500 | 450, 475 | 22 | 626 | 0,915 |
| G.E. 800 | 1 : 4,78 | 550 | 0,711 | 250, 500 | 275, 525, 460 575 | 12, 25, 20, 25 | 692 | |
| — — | 1 : 3,76 | 550 | 0,711 | 250, 500 | 275, 525, 460 575 | — | 692 | 1,070 |
| G.E. 1200 | 1 : 3,53 | 530 | 0,838 | 250, 500 | 325, 650, 300 400, 550 | 25, 50, 25 35, 50 | 1240 | 1,070 |
| G.E. 2000 | 1 : 3,18 | 900 | 0,838 | 250, 500 | 350, 700 | 50, 100, 55 110 | 1950 | 1,435 |

Digitized by Google

80 chev. dans le cas des roues extérieures et de 10 à 135 chev. dans le roues intérieures. Le tableau ci-contre indique leurs principales dimen- eur poids et leur prix [1].

me Compagnie construit aussi des locomotives Sperry à 4 roues motrices, de deux trucks articulés dont le châssis est constitué par la carcasse

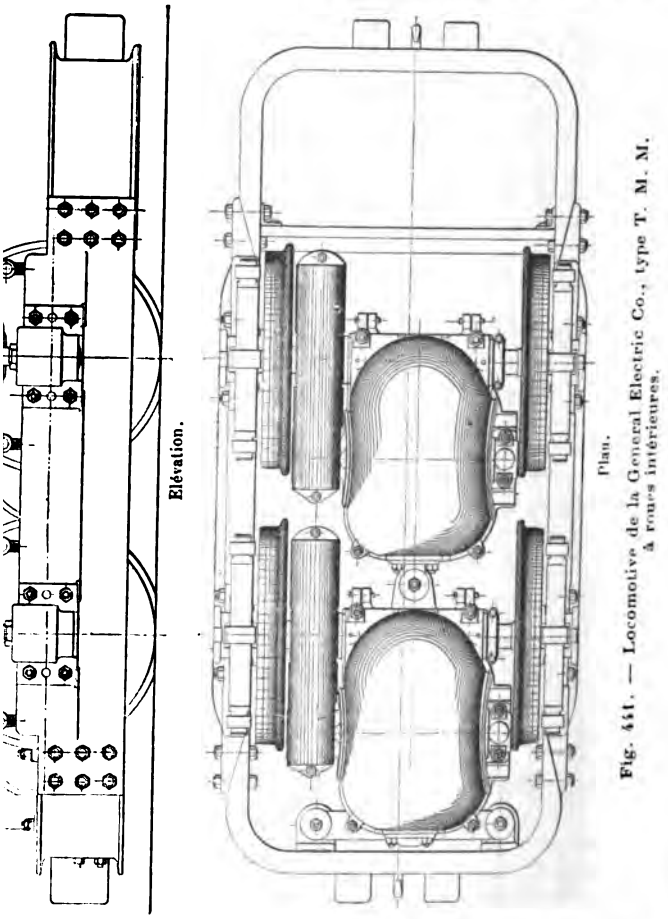



Fig. 441. — Locomotive de la General Electric Co., type T. M. M. à roues intérieures.

même des moteurs. Ces machines sont fabriquées pour des puissances 0 chev. et le tableau suivant en donne les principales constantes.

lle livre également des locomotives Thofehrn, du modèle représenté ıre 442 et dont le premier exemplaire a été établi en 1893 pour les cuivre d'Anaconda (Montana). Cette locomotive est à deux moteurs

vera en particulier d'intéressants exemples d'application de ce matériel 'olliery Engineer, décembre 1894, mine de Forest City, *The Engineering* *Journal*, 1er juin 1895, mine d'Eurêka, et 14 septembre 1895, mines de ı (Pennsylvanie). Pour les prix du tableau, voir la note de la page 457.



LOCOMOTIVES DE MINES DE LA G

| Vitesse en kilomètres à l'heure. | Effort de traction en kilogrammes. | DIMENSIONS PRINC Largeur de voie. | Empattement | Diamètre des roues. |
|---|---|---|---|---|
| **Locomotives T. M. M., avec** | | | | |
| 226 | 0,762 | 0,762 | 0,762 | 0,508 |
| 226 | 0,762 | 0,762 | 0,762 | 0,508 |
| 362 | 0,914 | 0,914 | 0,914 | 0,508 |
| 362 | 0,914 | 0,914 | 0,914 | 0,508 |
| 679 | 1,067 | 1,118 | 1,118 | 0,762 |
| 679 | 1,067 | 1,118 | 1,118 | 0,762 |
| 679 | 1,219 | 1,118 | 1,118 | 0,762 |
| 679 | 1,219 | 1,118 | 1,118 | 0,762 |
| 1132 | 1,219 | 1,118 | 1,118 | 0,762 |
| 1132 | 1,219 | 1,118 | 1,118 | 0,762 |
| 1132 | 1,435 | 1,118 | 1,118 | 0,762 |
| 1132 | 1,435 | 1,118 | 1,118 | 0,762 |
| **Locomotives T. M. M., ave** | | | | |
| 226 | 0,457 | 0,762 | 0,762 | 0,508 |
| 226 | 0,457 | 0,762 | 0,762 | 0,508 |
| 362 | 0,610 | 0,914 | 0,914 | 0,508 |
| 362 | 0,610 | 0,914 | 0,914 | 0,508 |
| 679 | 0,762 | 1,118 | 1,118 | 0,711 |
| 679 | 0,762 | 1,118 | 1,118 | 0,711 |
| 679 | 0,914 | 1,118 | 1,118 | 0,762 |
| 679 | 0,914 | 1,118 | 1,118 | 0,762 |
| 1132 | 0,914 | 1,118 | 1,118 | 0,762 |
| 1132 | 0,914 | 1,118 | 1,118 | 0,762 |
| 1132 | 1,067 | 1,118 | 1,118 | 0,762 |
| 1132 | 1,067 | 1,118 | 1,118 | 0,762 |
| 1812 | 1,435 | 1,524 | 1,524 | 0,914 |
| 1812 | 1,435 | 1,524 | 1,524 | 0,914 |
| **Locomotives type** | | | | |
| 1268 | 0,914 / 0,762 | » | | 0,508 |
| 1268 | 0,914 / 0,762 | » | | 0,508 |
| 1699 | 0,914 / 0,762 | » | | 0,508 |
| 1699 | 0,914 / 0,762 | » | | 0,508 |
| 2106 | 0,914 / 0,762 | » | | 0,508 |
| 2106 | 0,914 / 0,762 | » | | 0,508 |

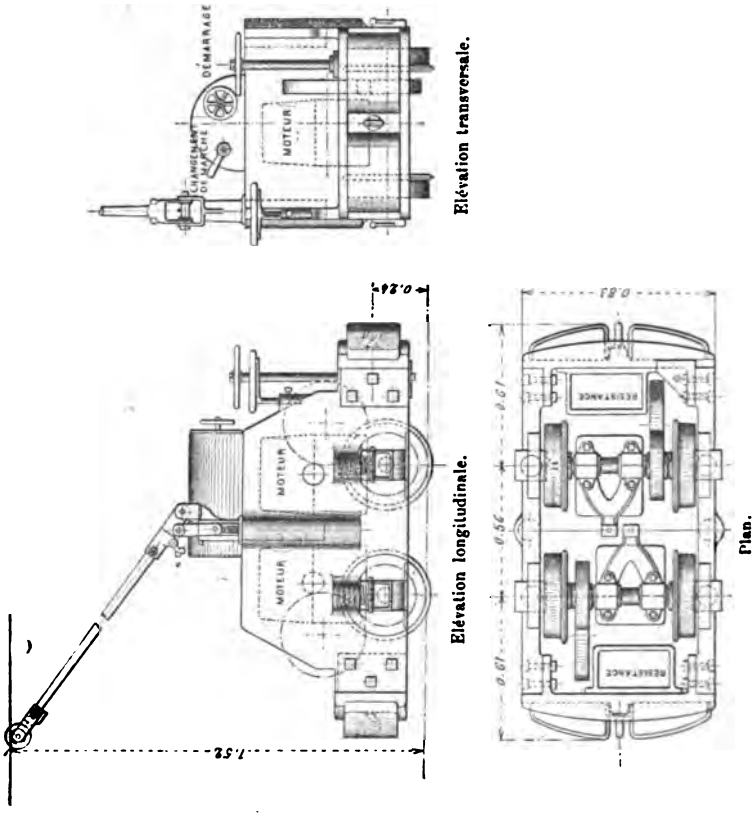
Digitized by Google

LOCOMOTIVES DE MINES DE LA GENERAL ELECTRIC CO.

| NUMÉRO du type. | PUISSANCE en chevaux. | VITESSE en kilomètres à l'heure. | EFFORT de traction en kilogrammes. | DIMENSIONS PRINCIPALES EN MÈTRES | | | | | | POIDS en kilogrammes. | PRIX (de 1893) en francs. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Largeur de voie. | Empattement | Diamètre des roues. | Largeur. | Longueur. | Hauteur. | | |
| **Locomotives T. M. M., avec roues extérieures.** | | | | | | | | | | | |
| 1 | 10 | 9,65 | 226 | 0,762 | 0,762 | 0,508 | 0,914 | 2,438 | 0,610 | 1 631 | 16 250 |
| 2 | 16 | 16,00 | 226 | 0,762 | 0,762 | 0,508 | 0,914 | 2,438 | 0,610 | 1 631 | 16 250 |
| 3 | 16 | 9,65 | 362 | 0,914 | 0,914 | 0,508 | 1,067 | 2,667 | 0,610 | 2 265 | 18 750 |
| 4 | 25 | 16,00 | 362 | 0,914 | 0,914 | 0,508 | 1,067 | 2,667 | 0,610 | 2 265 | 18 750 |
| 5 | 30 | 9,65 | 679 | 1,067 | 1,118 | 0,762 | 1,219 | 3,277 | 0,813 | 4 077 | 23 750 |
| 6 | 50 | 16,00 | 679 | 1,067 | 1,118 | 0,762 | 1,219 | 3,277 | 0,813 | 4 077 | 23 750 |
| 7 | 30 | 9,65 | 679 | 1,219 | 1,118 | 0,762 | 1,372 | 3,455 | 0,813 | 4 077 | 23 750 |
| 8 | 50 | 16,00 | 679 | 1,219 | 1,118 | 0,762 | 1,372 | 3,455 | 0,813 | 4 077 | 23 750 |
| 9 | 50 | 9,65 | 1 132 | 1,219 | 1,118 | 0,762 | 1,372 | 3,455 | 0,813 | 6 795 | 30 000 |
| 10 | 80 | 16,00 | 1 132 | 1,219 | 1,118 | 0,762 | 1,372 | 3,455 | 0,813 | 6 795 | 30 000 |
| 11 | 50 | 9,65 | 1 132 | 1,435 | 1,118 | 0,762 | 1,575 | 3,455 | 0,813 | 6 795 | 30 000 |
| 12 | 80 | 16,00 | 1 132 | 1,435 | 1,118 | 0,762 | 1,575 | 3,455 | 0,813 | 6 795 | 30 000 |
| **Locomotives T. M. M., avec roues intérieures.** | | | | | | | | | | | |
| 1 | 10 | 9,65 | 226 | 0,457 | 0,762 | 0,508 | 0,864 | 2,438 | 0,610 | 1 631 | 16 250 |
| 2 | 16 | 16,00 | 226 | 0,457 | 0,762 | 0,508 | 0,864 | 2,438 | 0,610 | 1 631 | 16 250 |
| 3 | 16 | 9,65 | 362 | 0,610 | 0,914 | 0,508 | 1,016 | 2,667 | 0,610 | 2 265 | 18 750 |
| 4 | 25 | 16,00 | 362 | 0,610 | 0,914 | 0,508 | 1,016 | 2,667 | 0,610 | 2 265 | 18 750 |
| 5 | 30 | 9,65 | 679 | 0,762 | 1,118 | 0,711 | 1,295 | 3,277 | 0,813 | 4 077 | 23 750 |
| 6 | 50 | 16,00 | 679 | 0,762 | 1,118 | 0,711 | 1,295 | 3,277 | 0,813 | 4 077 | 23 750 |
| 7 | 30 | 9,65 | 679 | 0,914 | 1,118 | 0,762 | 1,448 | 3,455 | 0,864 | 4 077 | 23 750 |
| 8 | 50 | 16,00 | 679 | 0,914 | 1,118 | 0,762 | 1,448 | 3,455 | 0,864 | 4 077 | 23 750 |
| 9 | 50 | 9,65 | 1 132 | 0,914 | 1,118 | 0,762 | 1,448 | 3,455 | 0,864 | 6 795 | 30 000 |
| 10 | 80 | 16,00 | 1 132 | 0,914 | 1,118 | 0,762 | 1,448 | 3,455 | 0,864 | 6 795 | 30 000 |
| 11 | 50 | 9,65 | 1 132 | 1,067 | 1,118 | 0,762 | 1,600 | 3,455 | 0,864 | 6 795 | 30 000 |
| 12 | 80 | 16,00 | 1 132 | 1,067 | 1,118 | 0,762 | 1,600 | 3,455 | 0,864 | 6 795 | 30 000 |
| 13 | 80 | 9,65 | 1 812 | 1,435 | 1,524 | 0,914 | 2,032 | 4,038 | 1,067 | 10 872 | 50 000 |
| 14 | 135 | 16,00 | 1 812 | 1,435 | 1,524 | 0,914 | 2,032 | 4,038 | 1,067 | 10 872 | 50 000 |
| **Locomotives type Sperry.** | | | | | | | | | | | |
| 1 | 50 | 9,65 | 1 268 | 0,914 / 0,762 | » | 0,508 | 0,889 | 2,946 | 0,889 | 5,436 | 32 500 |
| 2 | 70 | 16,00 | 1 268 | 0,914 / 0,762 | » | 0,508 | 0,889 | 2,946 | 0,889 | 5,436 | 32 500 |
| 3 | 70 | 9,65 | 1 699 | 0,914 / 0,762 | » | 0,508 | 0,889 | 3,353 | 0,889 | 7,701 | 45 000 |
| 4 | 90 | 16,00 | 1 699 | 0,914 / 0,762 | » | 0,508 | 0,889 | 3,353 | 0,889 | 7,701 | 45 000 |
| 5 | 90 | 9,65 | 2 106 | 0,914 / 0,762 | » | 0,508 | 0,889 | 3,809 | 0,965 | 9,513 | 52 500 |
| 6 | 110 | 16,00 | 2 106 | 0,914 / 0,762 | » | 0,508 | 0,889 | 3,809 | 0,965 | 9,513 | 52 500 |

Digitized by Google

et chacun d'eux a pour carcasse inductrice le bâti de la machine. C'est un engin particulièrement ramassé eu égard à sa puissance; il a 1,78 m. de longueur et 0,83 m. de largeur, et peut passer dans des galeries de 1,20 m. de hauteur; la voie est de 0,58 m.; les roues ont 0,355 m. de diamètre et l'empattement atteint seulement 0,56 m., ce qui permet à la machine de franchir des courbes de 2,50 m. de rayon. L'alimentation est faite à 120 volts, ce qui évite tout danger et permet de brancher le conducteur aérien sur une distribution




Elévation transversale.

Elévation longitudinale.

Plan.

Fig. 442. — Locomotive Thofehrn des mines d'Anaconda.

de lumière ordinaire. L'effort de traction atteint dans ces conditions 450 kg. Trois locomotives de ce genre servent à la manutention des minerais et produits de la raffinerie électrolytique de cuivre de l'Anaconda Copper Mining Co. (procédés Thofehrn) [1].

L'*Union Elektricitäts Gesellschaft* construit un matériel analogue, dont les figures 443 à 445 donnent des exemples.

Le type normal de mines et d'usines de cette compagnie, dont la figure 445 indique les dimensions, a été établi de manière à s'appliquer aux conditions variées qu'on rencontre dans les mines sans changement des formes exterieures :

[1] Cf. *Engineering and Mining Journal*, 16 janvier 1897.

Digitized by Google

par un simple déplacement du point de calage des roues sur les essieux, on peut faire varier la largeur de voie de 460 à 650 mm. ; en outre, les dimensions

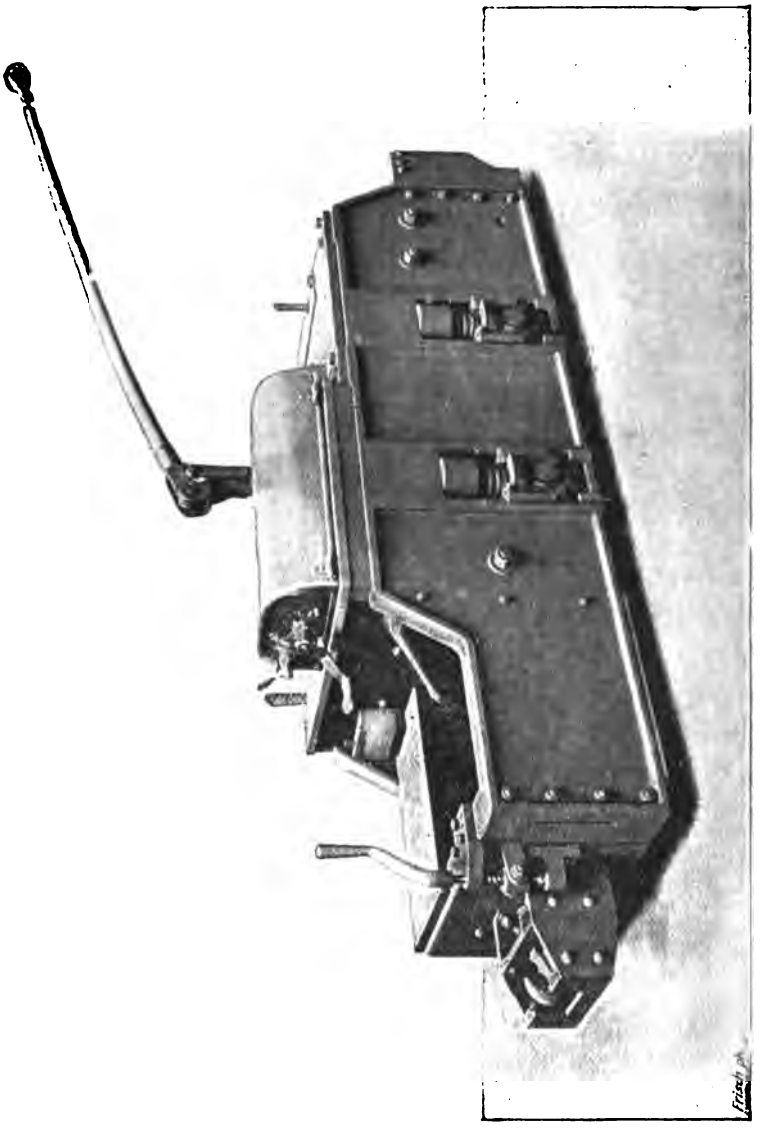


Fig. 443. — Locomotive normale de mines de l'Union Elektricitäts Gesellschaft. — Vue d'ensemble.

intérieures du châssis permettent d'y suspendre à volonté des moteurs de 4 à 26 chevaux sans aucun artifice particulier ; ces machines peuvent ainsi être construites par séries.

Le châssis en fonte repose par des ressorts en spirale sur les boîtes à graisse

Digitized by Google

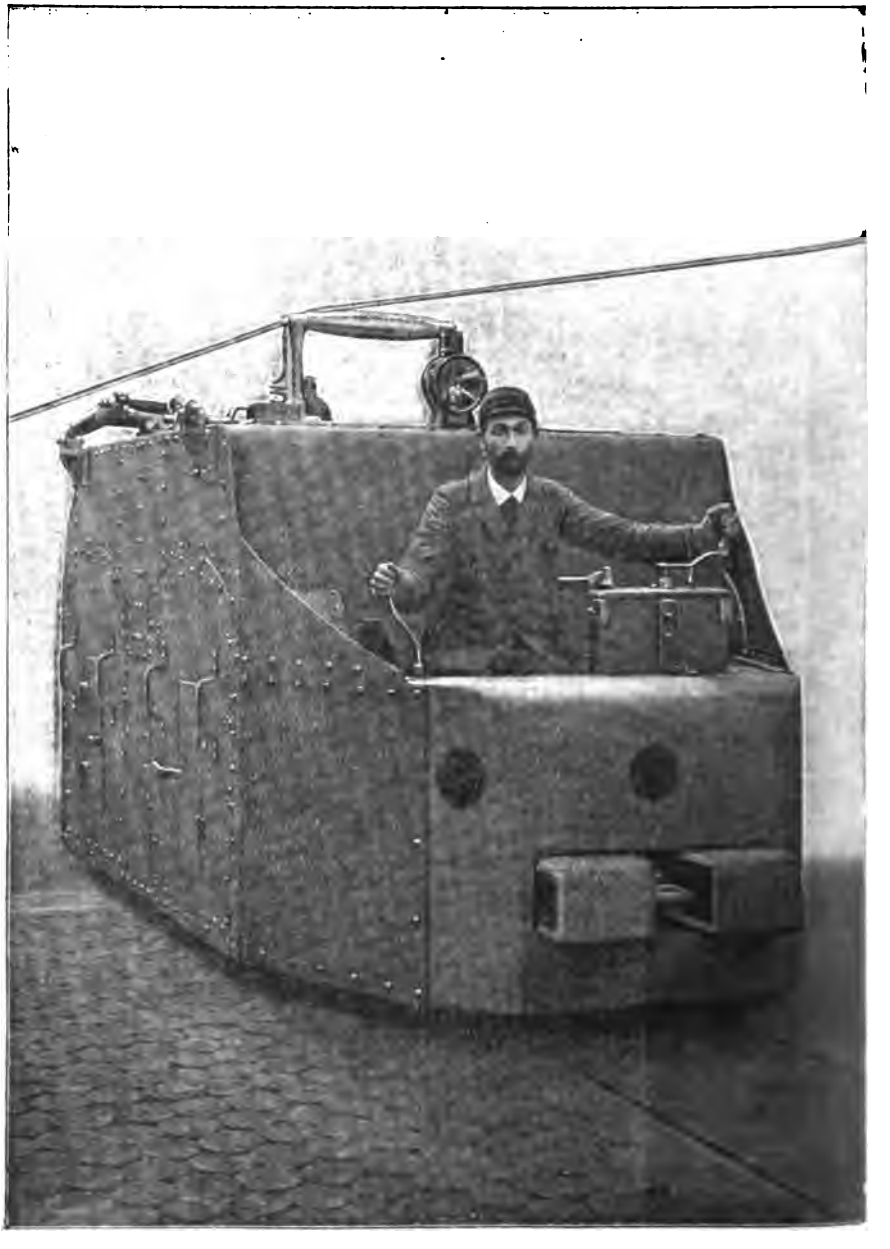


**Fig. 444. — Locomotive construite par l'Union Elektricitäts Gesellschaft, pour les mines d'Esch-sur-l'Alzette.**

Digitized by Google

des essieux ; les engrenages sont à simple réduction ; le régulateur et le rhéostat de démarrage sont placés de manière à être facilement accessibles. Tous les câbles sont logés dans des tubes vissés qui les mettent complètement à l'abri de toute détérioration mécanique aussi bien que de l'humidité. La base du trôlet, massive, est fixée au milieu de la locomotive et sa hauteur est proportionnée à celle du fil conducteur. Lorsque la voie est trop mauvaise pour servir de retour au courant, on emploie un second fil et un second trôlet. La locomotive est munie de boîtes à sable et d'un puissant frein à main. La machine de 8 chevaux, par exemple, comprend 2 moteurs avec coefficient de réduction de 5,75 ; elle développe à la vitesse de 1,88 m. par seconde un

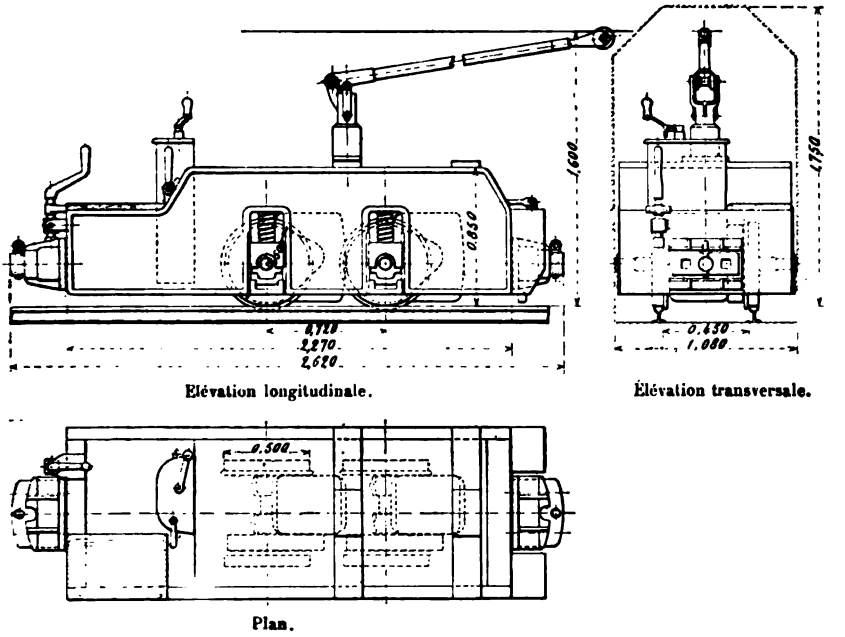



Fig. 445. — Locomotive normale de mines de l'Union Elektricitäts Gesellschaft. Mode de construction et dimensions principales.

effort au crochet de 250 kg. Son poids est de 2,10 t. et son prix de 8 000 fr.

Cette locomotive représente pour nous le meilleur type de machine pour petites puissances, et nous la trouvons très supérieure sous le rapport de la simplicité du mécanisme aux machines à un seul moteur parallèle à la voie (type de Marles, par exemple); il en existe des exemplaires en service aux mines de Burbach, aux ateliers de l'Helios à Cologne, de la Krainische Industrie Gesellschaft à Trieste, etc. Le type de la figure 444 a été construit en double pour les mines de fer d'Esch-sur-l'Alzette ; c'est une puissante machine de 100 chev. à deux moteurs, circulant sur une voie de 0,70 m.; elle développe un effort de traction au crochet de 2 500 kg. à la vitesse de 2,5 à 3 m : s. Son poids est de 18 t.

Les compagnies *Baldwin* et *Westinghouse* construisent également une série

Digitized by Google

complète de locomotives présentant des puissances de 50 à 200 chev. et des efforts de traction à la jante des roues de 1 500 à 5 000 kg. et même davantage ; l'effort réalisable peut être accru en ajoutant un lest de fonte pour augmenter l'adhérence.

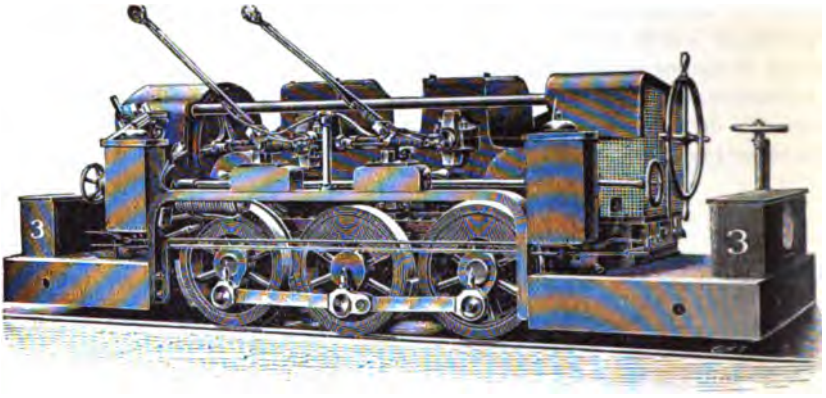
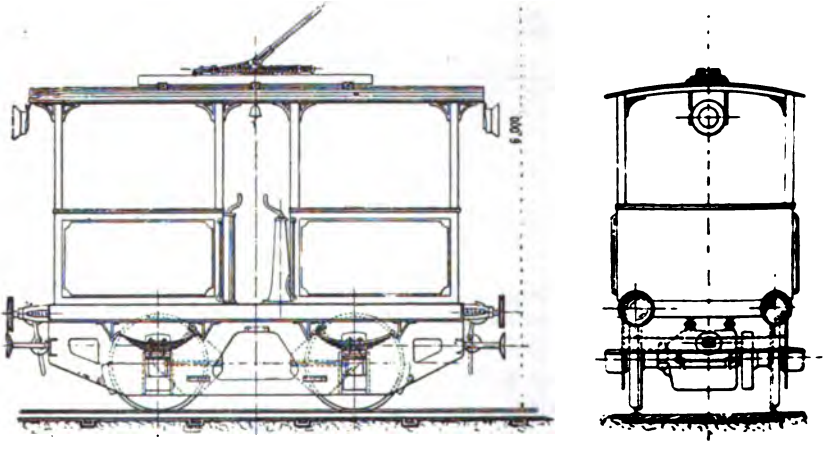



Fig. 446. — Locomotive de mines Baldwin-Westinghouse de 200 chevaux.

Ces locomotives sont formées d'un châssis en tôle de fer, construit aussi solidement qu'un châssis de locomotive à vapeur. Les engrenages sont à double réduction pour les plus faibles vitesses ; ils sont en acier moulé ou en



Élévation longitudinale. Élévation transversale.

Fig 447. — Locomotive industrielle Ganz.

fer malléable, avec dents taillées à la fraise, et sont enfermés dans des boîtes à huile étanches. Les moteurs sont portés d'un côté par l'essieu et de l'autre par des ressorts. La vitesse maxima normale prévue est de 16 km. à l'heure, mais, en changeant le coefficient de réduction des engrenages, elle peut être portée à 40 km.

La figure 446 représente l'une des plus grosses machines de cette catégorie,

Digitized by Google

la locomotive de 21 t. mise en service en 1896 aux mines de Elkhorn (Virginie occidentale) et capable de développer 200 chev. à la vitesse de 9,6 km. à l'heure sur une voie de 1,12 m.[1]. Pour satisfaire à ces conditions, il a fallu placer les moteurs au-dessus du châssis et employer un train d'engrenages intermédiaire. Cette locomotive est figurée sans sa carapace en tôle. Sa longueur est de 5,18 m., sa largeur totale de 1,50 m. et sa hauteur de 1,83 m.; les 6 roues de 0,815 m., accouplées par bielles, sont commandées par deux moteurs de 100 chev. chacun; l'empattement total est de 1,83 m. A la vitesse de 13 km : h., cette machine remorque un train de 40 wagons pesant chacun 4 t. sur une rampe de 20 mm : m. L'effort de traction correspondant au crochet est de 5 000 kg., c'est-à-dire environ 1/4 du poids de la locomotive. Elle vaut 33 000 fr.

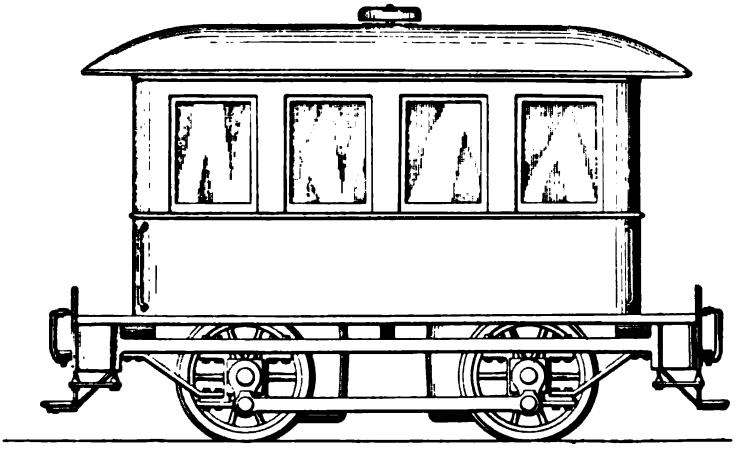


Fig. 448. — Locomotive de manœuvre Baldwin-Westinghouse.

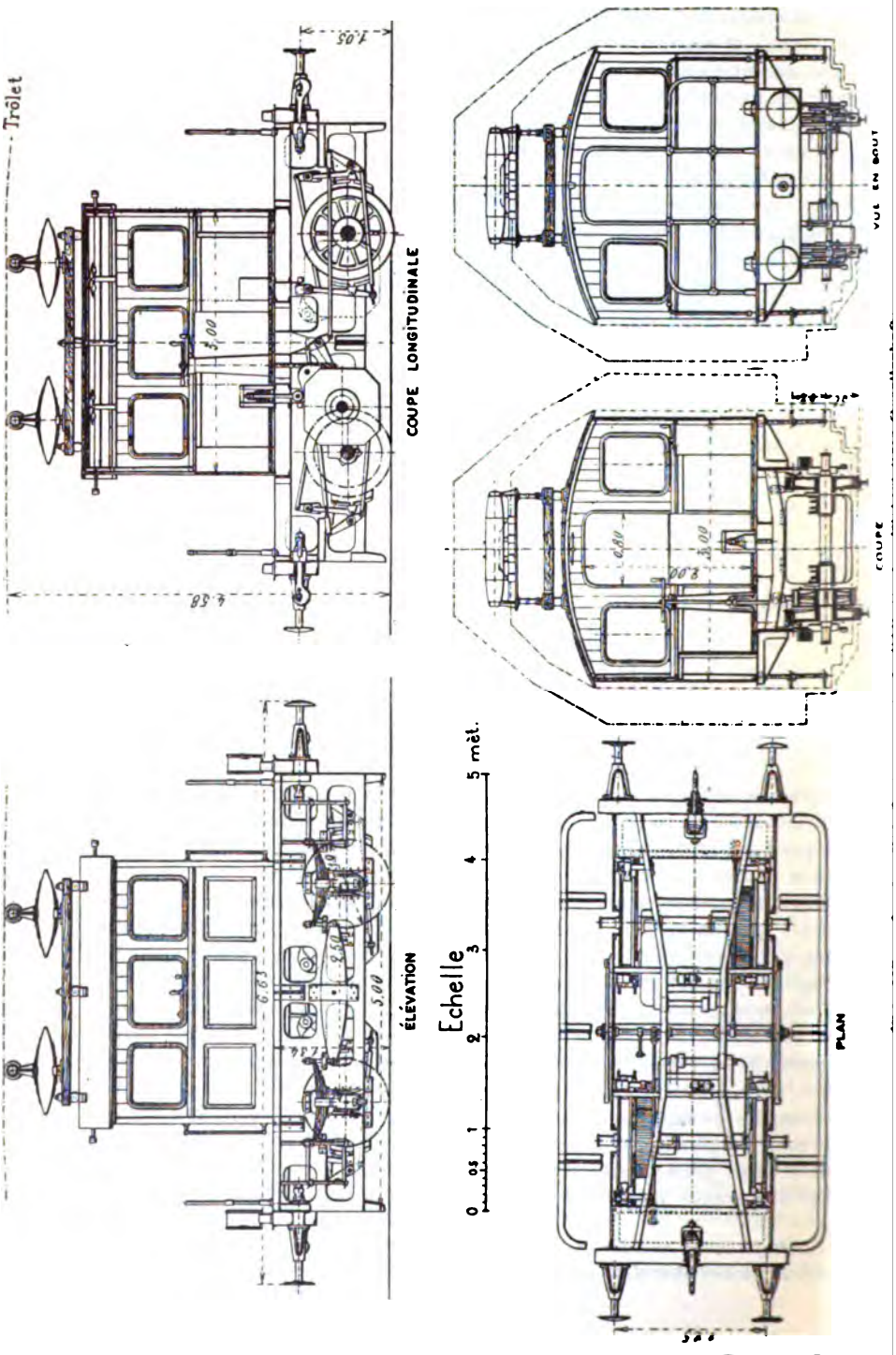
D'autres compagnie américaines, notamment la Compagnie *Jeffrey*[2], ont construit aussi un certain nombre de locomotives minières. Cette dernière fabrique 8 types de locomotive de 10 à 80 chev., développant des efforts de traction de 250 à 2 000 kg. sur des voies de 0,45 m. à 1, 44 m.

Les grands constructeurs dont nous venons de parler fournissent également pour les travaux au jour des locomotives analogues, dont les engins représentés par les figures 447 et 448 peuvent être considérés comme de bons exemples; le second est plus spécialement destiné aux manœuvres de gare.

C'est aussi parmi les machines de manœuvre que nous classerons la nouvelle locomotive à voie normale construite par l'*Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft* (fig. 449), bien qu'elle puisse servir également à la traction des trains légers (120 t. à 50 km : h. en palier). Cette machine, qui porte des caisses de lest remplies de sable ou de pierre, de façon à réaliser le poids de 20 t. nécessaire pour l'adhérence, est à 2 essieux. Le truck, en tôle et fers profilés, ne présente d'autre particularité qu'un platelage continu en tôle ondulée qui lui donne une grande raideur; il mesure 6,63 m. entre tampons; l'empattement

[1] Cf. *Engineering and Mining Journal*, 4 juillet 1896.
[2] Cf. *Electrical World*, 24 août 1895, p. 223.

Digitized by Google




Digitized by Google

est de 2,50 m. et le diamètre des roues de 1 m.; la suspension est équilibrée au moyen de balanciers. La cabine du mécanicien est disposée au centre du truck de manière à laisser libres deux plates-formes à l'avant et à l'arrière; sa partie supérieure est en bois, afin d'assurer un bon isolement du trôlet. Ce dernier est formé de deux rouleaux en bronze pressés par des ressorts à lames contre deux fils conducteurs de 8 mm. suspendus à 4,43 m. de hauteur minima au-dessus des rails. Chaque essieu est attaqué séparément par un moteur cuirassé de 84 chev., pouvant en donner jusqu'à 150, avec un coefficient de réduction de 3; les engrenages, composés d'une roue en acier moulé et d'un pignon en bronze phosphoreux, tournent dans une boite à huile étanche; les moteurs sont portés d'un côté par l'essieu et de l'autre par le truck avec interposition de ressorts, en sorte qu'un huitième seulement de leur poids repose sur l'essieu; on peut les visiter par des trappes ménagées dans le plancher de la cabine et les démonter par dessous sans avoir à lever la locomotive. La régulation de vitesse s'effectue par la méthode série-parallèle et le freinage par mise en court-circuit des moteurs sur des résistances. La locomotive est aussi munie d'un frein à main à 8 sabots, ainsi que d'un sifflet à air comprimé alimenté par une pompe à main, et des appareils accessoires habituels, parafoudre, disjoncteur automatique, etc.; l'éclairage est assuré par 8 lampes à incandescence, dont 4 à l'intérieur de

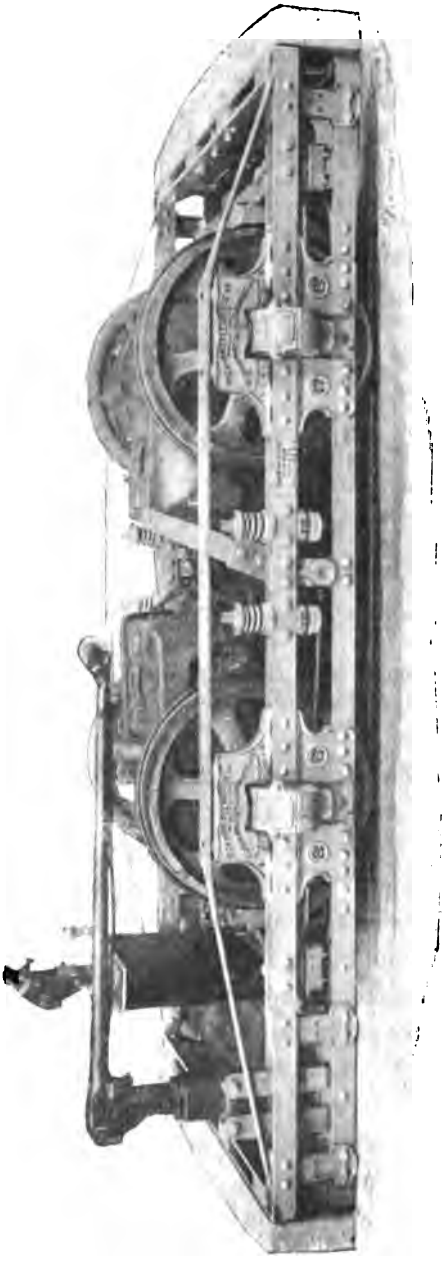


Fig. 450. — Tracteur industriel (truck moteur) Peckham.

Digitized by Google

la cabine et les 4 autres, disposées par paires, pour les feux réglementaires.

De simples trucks moteurs, comme celui de la figure 450, peuvent également être employés aux usages industriels. Celui que nous représentons a une longueur de 1,98 m. et une hauteur de 0,70 m.; le diamètre des roues est de 0,75 m. et l'empattement de 1,70 m.; il est équipé avec 2 moteurs G. E. 1 000.

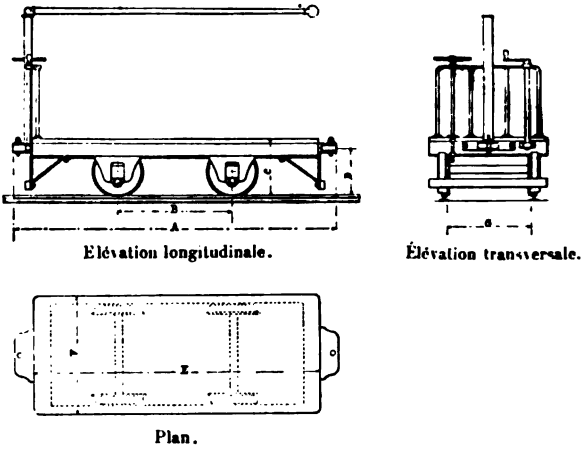



Fig. 451. — Truck moteur de la General Electric Co.

Le tableau de la page 543 indique les constantes des trucks du même genre (fig. 451) établis par la *General Electric Co.*

**Emploi d'accumulateurs sur les locomotives de mines.** — Dans les mines grisouteuses, la traction électrique au moyen de conducteurs placés dans les galeries est impraticable par suite des étincelles qui se produisent au passage de l'appareil de prise de courant; mais les moteurs électriques eux-mêmes peuvent être rendus tout à fait inoffensifs si on les maintient hermétiquement fermés[1]. La traction électrique est donc encore possible dans ces mines à l'aide de locomotives alimentées par des batteries d'accumulateurs. Ce système présente, d'autre part, certains avantages qui peuvent, lorsque le profil de la ligne n'est pas trop défavorable, en justifier l'emploi même dans d'autres cas : simplicité plus grande d'établissement dans les galeries où l'on a des mouvements du plafond à craindre, absence de tout danger de secousses pour le personnel, etc.

[1] On peut même inspecter le collecteur en marche en fermant la trappe de visite par une toile métallique, comme on le fait, par exemple, dans les moteurs de mines construits par la maison Goolden et assez répandus en Angleterre.

Digitized by Google

TRUCKS MOTEURS INDUSTRIELS DE LA GENERAL ELECTRIC CO. (voir fig. 451).

| Numéro du type. | CHARGE du truck. | CHARGE remorquée en palier. | VITESSE en kilomètres : heure. | NOMBRE de moteurs. | VOIE, G. | EMPATTEMENT, B. | DIAMÈTRE des roues, D. | LARGEUR, F. | LONGUEUR, A. | HAUTEUR de la plate-forme, C. | POIDS. | PRIX[1] du catalogue de 1893. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Tonnes. | Tonnes. | | | Mètres. | Mètres. | Mètres. | Mètres. | Mètres. | Mètres. | Kilogr. | Francs. |
| 1 | 6 | 5 | 9,65 | 1 | 0,457 | 0,915 | 0,508 | 1,118 | 2,438 | 0,610 | 1585 | 12000 |
| 2 | 6 | 25 | 9,65 | 2 | 0,457 | 0,915 | 0,508 | 1,118 | 2,438 | 0,610 | 2038 | 16500 |
| 3<br>5<br>7 | 6 | 18 | 9,65 | 1 | 0,610<br>0,762<br>0,914 | 0,915<br>0,915<br>1,220 | 0,508 | 1,270 | 3,048 | 0,610 | 1812 | 12750 |
| 4<br>6<br>8 | 6 | 55 | 9,65 | 2 | 0,610<br>0,762<br>0,914 | 0,915<br>0,925<br>1,220 | 0,508 | 1,270 | 3,048 | 0,610 | 2265 | 17250 |
| 9 | 6 | 18 | 9,65 | 1 | 0,914 | 1,829 | 0,508 | 1,880 | 4,267 | 0,610 | 2265 | » |
| 20 | 6 | 55 | 9,65 | 2 | 0,914 | 1,829 | 0,508 | 1,880 | 4,267 | 0,610 | 2718 | » |
| 11 | 6 | 6 | 14,50 | 1 | 0,914 | 1,829 | 0,762 | 1,880 | 4,267 | 0,914 | 2718 | » |
| 12 | 6 | 28 | 14,50 | 2 | 0,914 | 1.829 | 0,762 | 1,880 | 4,267 | 0,914 | 3172 | » |
| 13 | 10 | 40 | 12,8 ou 17,7 | 1 | 0,762 | 1,829 | 0,762 | 1,880 | 4,267 | 0,914 | 4077 | 16500 |
| 14 | 10 | 100 | — | 1 | 0,914 | 1,829 | 0,762 | 1,880 | 4,267 | 0,914 | 4530 | 18000 |
| 15 | 10 | 180 | — | 2 | 0,914 | 1,829 | 0,762 | 1,880 | 4,267 | 0,914 | 5346 | 25500 |

[1] Pour les prix, voir la note de la page 457.

Digitized by Google

Aussi en a-t-on tenté déjà quelques applications dans le cours des dernières années. La locomotive à accumulateurs ne diffère d'ailleurs des précédentes que par l'addition d'une batterie sur le truck lui-même ou sur un petit wagon tender séparé. La première solution est la seule rationnelle, parce qu'elle permet d'utiliser pour l'adhérence le poids mort de la batterie. Dans tous les cas, le peu d'espace dont on dispose pour loger celle-ci ne permet guère de dépasser des puissances de 5 à 6 chev.

Pour que la traction par accumulateurs soit acceptable, il faut qu'elle ne conduise pas à un poids mort exagéré comparativement à la charge utile. Dans les mines, on peut, comme l'a indiqué M. Libert[1], satisfaire à cette condition en ménageant dans les galeries une pente aussi uniforme que possible dans le sens du transport à charge, de manière à diminuer l'effort moteur nécessaire pour remorquer les véhicules pleins. Si l'on est libre de choisir cette pente, on devra lui donner une valeur telle que l'effort nécessaire pour remorquer un train chargé à la descente soit égal à celui qu'il faut pour le traîner à vide à la remonte.

Il faut en outre établir les voies et le matériel roulant de la manière la plus perfectionnée pour réduire la consommation d'énergie. Dans ces conditions, l'emploi des locomotives à accumulateurs peut donner des résultats satisfaisants.

Plusieurs applications en ont été tentées, mais sans avoir jamais été longtemps poursuivies. La première fut faite par *Reckenzaun*, dans la mine de Trafalgar, en Angleterre. Quelque temps après, la Compagnie *Immisch* construisait pour la houillère de Wharncliffe Silkstone une locomotive à accumulateurs[2] capable de remorquer, sous un courant de 45 ampères × 100 volts, un train de 15 berlines chargées pesant 8,5 t. à la vitesse de 5,6 km : h. sur une rampe de 14 mm : m. La batterie, comportant 44 éléments Tatham, était logée en partie sur le châssis et en partie au-dessous pour augmenter la stabilité ; les 4 roues couplées par bielles étaient commandées par un moteur unique à l'aide d'une transmission analogue à celle des anciennes voitures de Budapest (p. 124

Plus récemment (1893), la question a été reprise en Belgique par la direction des Charbonnages d'Amercœur (Jumet), qui, avec le concours de la Société *Julien*, a installé successivement trois types de locomotives à accumulateurs[3].

La première, qui circule à la profondeur de 28 m., reçoit le courant de

[1] *Revue Universelle des Mines*, 1894, t. XXVII, page 109.

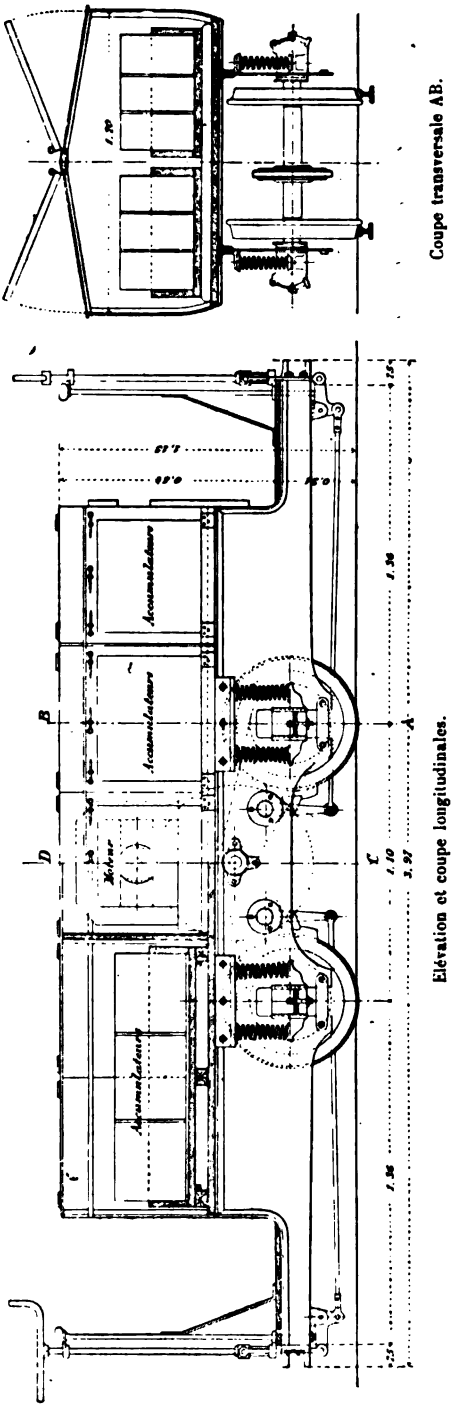
[2] *Electrical World*, 16 mars 1889, p. 258.

[3] Cf. Libert, *loc. cit.*

Digitized by Google

charge par deux câbles descendant dans un puits et reliés aux bornes des dynamos d'éclairage des bureaux et ateliers. Elle est représentée par la figure 452; ses dimensions sont : longueur 3,97 m., hauteur 1,15 m., largeur 1,20 m., diamètre des roues 0,50 m., empattement 1,10 m.; le poids total est de 3 200 kg., dont 1 440 pour la batterie, 560 pour le moteur et 1 200 pour le truck. Le moteur est unique et attaque les deux essieux à la fois par une transmission à double réduction (engrenages, puis chaîne de Galle); il est placé au milieu du truck, qui porte également les caisses d'accumulateurs et est suspendu élastiquement sur des ressorts à boudin. Cette machine traîne des trains de 15 wagonnets pesant en charge 650 kg. environ chacun à la vitesse normale de 8 km : h. et peut effectuer un transport de 300 wagonnets en 10 heures.

La seconde locomotive (fig. 452 *bis*) se compose d'un châssis reposant par l'intermédiaire de ressorts en caoutchouc sur deux bogies suspendus de même et ayant chacun un de leurs essieux commandé par un moteur au moyen d'un double train d'engrenages épicycloïdaux. Ses données principales sont : longueur 4,56 m., largeur 1 m., hauteur 1,325 m., poids 4 500 kg., dont 1 550 pour la batterie, 800 pour les




Élévation et coupe longitudinales.

Fig. 452. — Locomotive à accumulateurs des mines d'Amercœur, premier type.



Digitized by Google

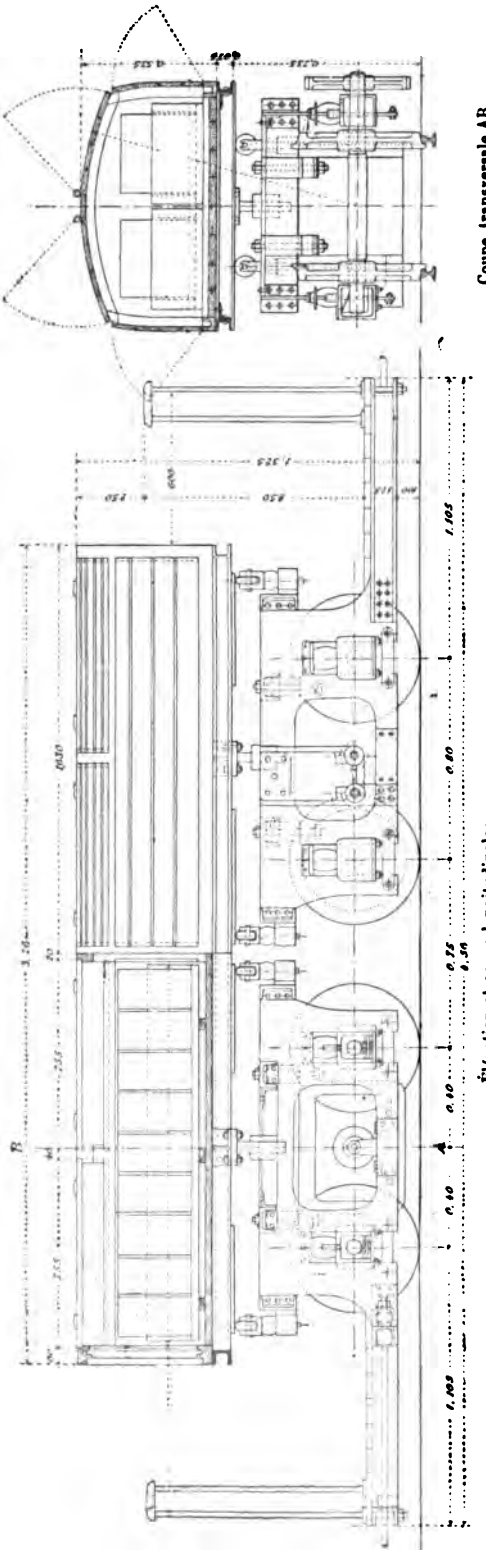



Fig. 452 *bis*. — Locomotive à accumulateurs des mines d'Amercœur, second type.

moteurs et 2 150 pour le châssis. La machine peut franchir des courbes de 6 m. de rayon; elle traine des trains de 20 wagonnets à la vitesse de 8 km : h. et peut faire un transport de 400 wagonnets en 10 heures.

Les boites d'accumulateurs sont placées dans le sens transversal et non plus dans le sens longitudinal comme dans le premier type; les parois de la caisse se rabattent et le couvercle se soulève pour donner accès aux batteries.

Enfin le troisième type de locomotive présente des dispositions tout à fait analogues à celles du premier, avec moteur unique à double réduction (rapport 1 : 9,; la principale différence consiste en ce que les deux réductions sont effectuées par engrenages et que le moteur repose directement sur les essieux. Le rendement entre les bornes et les essieux, au régime normal, est de 0,72.

La régulation de ces locomotives est faite par rhéostat.

Dans la descente des trains en charge, le rapport du poids utile au poids total est de 75,3 p. 100 pour la première locomotive et 74,3 p. 100 pour la seconde; dans la remonte à vide, ces rapports deviennent respectivement 54 et 52,6 p. 100. Il convient donc de réduire le nombre des voyages en augmentant la charge au maximum.

Digitized by Google

L'énergie disponible est estimée à 46 et 49 chev.-h.[1], ce qui, en admettant un rendement moyen de 70 p. 100 pour l'appareil moteur, représente un fonctionnement de 8 heures sous des puissances utiles de 4 et 4,25 chev. Le rendement total est évalué à 0,34 (0,80 pour les dynamos, 0,80 pour les accumulateurs, 0,70 pour les moteurs et 0,75 pour la ligne); ce chiffre se réduit à 0,25 en tenant compte du poids mort et reste cependant supérieur au rendement de l'air comprimé (0,20).

M. Libert estime le prix de revient de la tonne-kilomètre à 0,07 fr., au lieu de 0,11 fr. avec la traction par chevaux[2]; mais cette évaluation ne tient pas compte du prix du courant.

Ces locomotives coûtent de 8 à 9 000 fr., y compris les accumulateurs.

En fait, les ennuis et les dépenses de l'entretien des batteries n'ont pas permis jusqu'ici à cette application de conquérir droit de cité dans les mines; mais des progrès nouveaux apportés aux accumulateurs pourraient modifier cette situation, à condition que

[1] Dans les deux premières locomotives, la batterie comprend 36 éléments de 40 kg. au total, formés de plaques Julien de 300 × 200 mm. pesant 31 kg. dans la première et 33,5 kg. dans la seconde; la capacité est évaluée à 16 amp.-h. par kg., ce qui représenterait en énergie 34 et 36,5 kw.-h. respectivement.

[2] D'après les renseignements fournis plus récemment (1895) par la Société des Charbonnages d'Amercœur, les frais d'exploitation s'établiraient comparativement comme il suit, dans le cas d'un transport journalier moyen de 700 wagonnets chargés dans chaque sens pendant 300 jours par an :

*Traction par chevaux.*

| | |
|---|---|
| Nourriture de 11 chevaux : 2,25 fr. × 11 × 365 jours. | 9 035,75 fr. |
| Harnais, maréchal-ferrant, vétérinaire, etc. . . . . | 880,00 — |
| Salaires de 7 conducteurs : 2,65 fr. × 7 × 300 jours. | 4 725,00 — |
| — de 2 palefreniers : 2,25 fr. × 2 × 365 jours. | 1 642,50 — |
| Amortissement de 11 chevaux en 7 ans : 700 fr. × 11 × 0,15 . . . . . | 1 100,00 — |
| Intérêts du capital-chevaux : 700 fr. × 11 × 0,05 . . . | 400,00 — |
| Total par an. . . . . | 17 783,25 fr. |
| ou par jour de service. . . . | 59,27 fr. |

*Traction électrique* (par 3 locomotives, dont 1 de réserve).

| | |
|---|---|
| Entretien et renouvellement de 2 batteries : 5 fr. × 2 × 300 jours . . . . . | 3 000,00 — |
| Chiffons, graisse, etc. : 1 fr. × 2 × 300 jours. . . . . | 600,00 — |
| Salaires de 2 mécaniciens : 3 fr. × 2 × 300 jours . . | 1 800,00 — |
| Amortissement et renouvellement des locomotives (accumulateurs non compris) en 7 ans : 9 000 fr. × 2 × 0,15. | 2 700,00 — |
| Intérêts du capital-locomotives : 9 000 fr. × 3 × 0,05. | 1 350,00 — |
| Total par an. . . . . | 9 450,00 fr. |
| ou par jour de service. . . . | 31,50 fr. |

soit en faveur de la traction électrique une économie journalière de 27,77 fr. ou 47 p. 100.

Par wagonnet chargé, les prix de revient sont respectivement de 0,085 fr. par che-

Digitized by Google

le poids des batteries fût en même temps réduit pour diminuer la fatigue des voies.

## § 6. — Prix des locomotives électriques

Les locomotives à vapeur françaises d'express pèsent environ 50 t. et coûtent 1,60 fr. à 1,80 fr. le kg. Les machines américaines pèsent en moyenne 55 t. et coûtent 1,10 fr. à 1,30 fr. le kg.

Pour les locomotives électriques, le prix ne peut se rapporter au poids qu'avec une plus grande incertitude, parce que le poids du lest est très variable et que, d'autre part, le prix de revient des moteurs dépend surtout de la main d'œuvre ; il est donc assez différent suivant le nombre et le type des moteurs et suivant l'outillage du constructeur. Il varie naturellement aussi avec la façon d'évaluer la puissance nominale ; c'est un fait dont il est essentiel de tenir compte lorsqu'on parle de prix de locomotives ou de locomotrices électriques. Il y a lieu également de remarquer que les prix sont actuellement plus élevés en Europe qu'en Amérique. Les chiffres que nous allons donner n'ont donc qu'une valeur d'exemples et nous ne chercherons pas encore à en déduire des moyennes générales.

Nous avons vu ci-dessus que le prix des locomotives Baldwin à engrenages du type de la figure 413 varie d'environ 50 000 fr. pour une machine à deux moteurs de 100 chev. à 75 000 fr. pour une machine à quatre moteurs de 200 chev., soit entre 250 et 100 fr. par cheval. La première pèse en ordre de marche environ

vaux et 0,045 fr. par locomotives, et par tonne-kilomètre utile (à 400 kg. de charge par wagonnet, sur une distance de 1 575 m.) de 0,134 fr. et 0,072 fr.

Le coût de l'écurie pour les chevaux et celui du garage pour les locomotives n'interviennent pas dans la comparaison, car ils sont à peu près équivalents.

On n'y a pas fait entrer non plus le prix du courant fourni aux batteries, parce que comme c'est souvent le cas dans les mines, l'exploitation d'Amercœur comporte tout un ensemble de machines d'extraction, d'exhaure, de ventilation, etc., d'une puissance totale de 13 000 chev., dans la dépense de fonctionnement desquelles la marche de la dynamo servant à la charge des accumulateurs n'intervient que pour une fraction tout à fait insignifiante. Si l'on voulait cependant tenir compte de ce chef de dépense on pourrait admettre, par exemple, comme prix de revient du kilowatt-heure le chiffre de 0,12 fr., ce qui, à raison de 32 kw.-h. par batterie et par jour, donnerait une dépense annuelle de $2 \times 32 \times 300 \times 0{,}12$ fr. $= 2\,304$ fr., à ajouter au total précédemment trouvé ; le coût annuel de la traction électrique s'élèverait, dans ces conditions, à 11 754 fr., et le prix de revient de la tonne-kilomètre à 0,089 fr.

Digitized by Google

30 t., dont 7 t. pour la partie électrique, soit 150 kg. par cheval ; la seconde environ 70 t., dont 18 t. pour la partie électrique, soit 90 kg. par cheval. Les prix unitaires correspondants varient ainsi de 1,70 à 1,00 fr. par kg.

Ces prix s'entendent des appareils emballés et rendus à quai à New York.

Quant aux locomotives gearless, il est difficile d'en indiquer les prix d'une façon précise, étant donné qu'il n'a guère été construit jusqu'ici dans ce genre que des appareils d'essai et que les moteurs de Liverpool et du City and South London Railway sont d'un type trop ancien pour servir de base de comparaison [1].

Cependant, nous pouvons citer le prix des locomotives de Baltimore, qui pèsent 106 t. et coûteraient aujourd'hui environ 150 000 fr., soit 1,44 fr. par kg., et celui des machines du Central London Railway, qui pèsent 50 t. et coûtent 75 000 fr., soit 1,50 fr. par kg.

En France, nous avons vu récemment estimer une locomotive à trois essieux actionnés chacun par un moteur gearless de 200 chev., pesant au total 36 t., pour service métropolitain ou de banlieue, environ 90 000 fr., soit 2,50 fr. le kg.

Il est intéressant de faire remarquer que la construction sur bogies n'augmente pas sensiblement le poids ni le prix des locomotives électriques : par exemple, une locomotive de même fabrication et de même puissance que la précédente, mais montée sur deux bogies à 2 essieux avec un moteur par essieu, pèserait environ 3 t. de plus et ne coûterait guère que 96 000 fr. ou environ 2,45 fr. le kg.

Les locomotives Heilmann pourraient, d'après leur constructeur, être livrées par quantités au prix de 250 000 fr. l'une, soit 2 fr. le kg. ; les machines d'essai actuelles sont naturellement plus coûteuses (au moins 300 000 fr., soit 2,20 fr. le kg.).

En ce qui concerne les locomotives de mines, rappelons que le modèle de la figure 446, qui a une puissance de 200 chev., pèse en ordre de marche environ 21 t. ou 105 kg. par cheval, dont

[1] Les automobiles de Liverpool coûtent environ 27 000 fr., dont 12 000 pour l'équipement électrique formé d'un moteur de 40 chev. pesant 3 t., soit 4 fr. par kg. de moteur, et les locomotives du City and South London Ry., 30 000 fr. pour 100 chev. et 13,5 t. (lest compris), soit 2,20 fr. le kg.

Digitized by Google

7,5 kg. pour la partie électrique; il coûte environ 33 000 fr., soit 1,50 fr. le kg.

Le plus petit type de locomotive de mines Baldwin, à deux essieux et deux moteurs de 30 chev., pèse environ 10 t., dont 2,7 t. pour la partie électrique, et coûte environ 15 000 fr., soit encore 1,50 fr. le kg.

Un autre type pour travail au jour, à deux moteurs de 50 chev., pèse en ordre de marche à peu près 15 t. et coûte environ 26 000 fr., soit 1,70 fr. le kg.

Ces prix s'appliquent encore aux appareils emballés et rendus à quai à New York.

Les machines analogues construites en Europe sont jusqu'ici notablement plus coûteuses : ainsi, le dernier type des mines de Marles, qui pèse 3,20 t. pour une puissance de 15 chev., coûte 7 000 fr., soit 2,18 fr. le kg. ; la locomotive Dulait de 20 chev. des mines du Grand Hornu pèse 4 t. et coûte 11 500 fr., soit 2,87 fr. le kg. ; celle de 100 chev. des usines de Briansk pèse 40 t. et coûte 22 000 fr., soit 2,20 fr. le kg. ; la machine de 8 chev. de l'Union Elektricitäts-Gesellschaft pèse 2,10 t. et coûte 8 000 fr., soit 3,80 fr. le kg. ; enfin les locomotives minières de la Société Alsacienne se vendent 7 000 fr. pour 6 chev. et 2,5 t., 10 000 fr. pour 15 chev. et 4 t. et 12 000 fr. pour 20 chev. et 5 t., ce qui fait ressortir leur prix respectivement à 2,80, 2,50 et 2,40 fr. le kg.

---

Digitized by Google

# *APPENDICES*

Digitized by Google

Digitized by Google

# APPENDICE N° 1

## DÉPENSES D'ÉTABLISSEMENT ET D'EXPLOITATION DES INSTALLATIONS DE TRACTION ÉLECTRIQUE

Quand on veut établir les frais de traction sur une ligne électrique, il est nécessaire d'évaluer les dépenses d'établissement et d'exploitation des conducteurs de distribution et de la station centrale ; bien que ces deux questions ne sont pas traitées dans ce volume et que nous les supposions connues comme toutes les généralités de l'électrotechnique, nous croyons utile pour faciliter les calculs de résumer sommairement les données que nous avons pu réunir sur ces deux chapitres de dépenses sans les séparer de ceux qui sont relatifs à la traction pure. Il ne nous a pas paru que notre travail pût être complet sans traiter ce côté pratique important de la traction électrique. Mais nous nous abstiendrons de toute comparaison avec les autres modes de locomotion, d'une part parce que cette comparaison a déjà été faite par bien des auteurs, de l'autre parce que les résultats économiques des divers systèmes sont essentiellement variables suivant les circonstances locales et ne peuvent se traduire par une formule générale, même pour les tramways (nous avons déjà fait les réserves nécessaires en ce qui concerne les chemins de fer au chapitre VII).

**Généralités.** — Les frais de premier établissement et d'exploitation des lignes électriques sont, plus encore peut-être que dans les autres systèmes de traction, des fonctions complexes des conditions particulières de l'installation, c'est-à-dire de l'étendue et de la configuration du réseau, de l'activité du trafic, du système d'appareillage adopté, etc. Le capital d'établissement intervient d'ailleurs, par les charges d'intérêt et d'amortissement auxquelles

Digitized by Google

il donne lieu, dans une proportion qu'on a trop souvent le tort de négliger (généralement près de 1/3, dans la composition du prix de revient de la traction ; d'autre part, les prix locaux de la main-d'œuvre et du combustible et la direction commerciale de l'entreprise exercent sur la portion restante de ce prix de revient une influence capitale.

Aussi les moyennes qu'on peut tirer d'un certain nombre d'exemples ne signifient-elles pas grand'chose par elles-mêmes, non plus, du reste, que les résultats fournis pour des exploitations déterminées quand on se borne, comme cela arrive souvent, à l'énoncé du chiffre global des frais de traction par voiture-kilomètre : pour que des chiffres d'exploitation aient une utilité réelle, il faut qu'on puisse préciser les conditions particulières dans lesquelles ils ont été obtenus et connaître leur décomposition détaillée.

Lorsqu'on se trouve en présence d'une exploitation nouvelle dont il s'agit d'évaluer le rendement financier probable, le mieux est de procéder par comparaison avec des installations analogues existantes, l'intelligence et le raisonnement devant, bien entendu, intervenir dans la discussion des résultats trouvés. Les lignes américaines ne peuvent d'ailleurs, en général, servir de termes de comparaison pour des installations européennes, parce que leurs conditions d'exploitation sont trop différentes, surtout en ce qui concerne les vitesses réalisées et le prix de la main-d'œuvre.

Nous nous bornerons ici à indiquer quelques points de repère pouvant servir de guide dans les comparaisons de ce genre, en résumant et complétant dans ce but les renseignements pratiques déjà donnés dans les chapitres VI, VII et XII.

Les indications qui suivent s'appliquent principalement aux tramways et au système de traction le plus répandu, celui par conducteurs aériens.

**Bases de comparaison.** — Nous rapporterons les dépenses d'exploitation à la *voiture-kilomètre*, faute d'une meilleure unité pratique. Quant aux frais d'établissement, il est commode pour apprécier leur part d'influence de les rapporter à la *voiture en service*[1].

[1] Le parcours des voitures a relativement peu d'influence sur le coût de l'installation.

Digitized by Google

On voit immédiatement que, parmi les dépenses de premier établissement, il en est au moins deux, celle de la voie ferrée et celle de la canalisation électrique, qui sont dans une certaine mesure indépendantes du nombre des voitures en service : ce nombre n'influe sur l'établissement de la voie qu'au point de vue de l'intervalle à ménager entre les évitements sur les lignes à voie unique et éventuellement pour l'adoption de la double voie ; quant au poids du cuivre entrant dans la canalisation, il est surtout fonction du développement du réseau. Toutes choses égales d'ailleurs, la dépense totale d'établissement par voiture en circulation sera donc d'autant moindre que le nombre des voitures sera plus grand. Il est, par suite, nécessaire de faire tout d'abord une distinction entre les différentes lignes suivant l'intensité du trafic, qu'on supposera avoir été préalablement déterminée d'après les considérations développées plus haut (t. I, p. 349).

Nous ferons dans ce qui suit trois hypothèses sur l'activité de la circulation, en supposant successivement qu'il y ait 1, 2 et 3 voitures en service par kilomètre de ligne. Nous appliquerons la première hypothèse à une ligne à simple voie, avec évitements, de 5 km. de longueur, moitié urbaine, moitié suburbaine ; la seconde, d'abord à une ligne identique, puis à une ligne à double voie de longueur double, entièrement urbaine ; enfin la troisième à une ligne également urbaine et à double voie, mais de 20 km. de longueur.

Nous avons supposé dans tous les cas des conditions de service moyennes : vitesse moyenne, 12 km : h. ; déclivités modérées (maximum 25 mm. par mètre) ; voitures faisant chacune environ 150 km. par jour, soit 50 000 km. par an.

## DÉPENSES D'ÉTABLISSEMENT

**Prix unitaires.** — Pour l'évaluation des dépenses d'établissement, on peut admettre, *à titre essentiellement approximatif*, les données et prix unitaires moyens suivants :

*Voie ferrée.* — Prix du kilomètre de voie simple de 1,44 m. de largeur, sur accotement, en rails Vignole de 20 kg. posés sur traverses . . . . . 25 000 fr.

Digitized by Google

| | |
|---|---|
| Prix du kilomètre de voie simple de 1,44 m. de largeur, sur chaussée pavée, en rails Broca de 36 kg. posés directement sur la fondation en sable du pavage : | |
| Fourniture et pose de la voie . . . . . | 15 000 fr. |
| Réfection de la chaussée dans l'entre-rail et sur 0,50 m. de chaque côté (en supposant les 4/5 au moins des anciens matériaux réemployés). . . . . | 15 à 20 000 — |
| Total. . . . . | 30 à 35 000 fr. |
| Prix du kilomètre de voie semblable en rails Broca de 44 kg. : | |
| Fourniture et pose de la voie . . . . . | 20 000 fr. |
| Réfection de la chaussée . . . . . | 15 à 20 000 — |
| Total. . . . . | 35 à 40 000 fr. |

La dépense serait naturellement beaucoup plus forte si la chaussée devait être refaite entièrement à neuf ou sur une largeur plus grande et surtout si l'on était obligé d'établir une fondation en béton (voir p. 90).

A ces prix il convient en pratique d'ajouter d'abord les droits d'octroi, s'il y a lieu, puis une plus-value pour les courbes, garages, appareils de voie, etc., qu'on peut ordinairement évaluer à 10 p. 100 environ pour une voie unique.

Lorsque la voie est double, le prix du kilomètre n'est généralement pas tout à fait double de celui de la simple voie ; la différence est plus ou moins grande suivant la position respective des deux voies et l'importance des travaux de viabilité à la charge de la compagnie de tramways.

*Canalisation électrique.* — Prix du kilomètre de canalisation électrique aérienne à fil unique avec suspension par câbles transversaux :

| | |
|---|---|
| 60 poteaux métalliques à 250 ou 300 fr. l'un . . . . . | 15 à 18 000 fr. |
| Fil de service, isolateurs, câbles de suspension, etc. . . | 3 à 4 000 — |
| Total. . . . . | 18 à 22 000 fr. |

En employant au lieu de poteaux des rosaces scellées dans le mur des maisons riveraines, le prix se réduirait à 5 ou 6 000 fr.

Prix du kilomètre de canalisation électrique aérienne à fil unique avec suspension par consoles :

| | |
|---|---|
| 30 poteaux-consoles métalliques à 300 ou 350 fr. l'un . | 9 à 11 000 fr. |
| Fil de service, isolateurs, câbles de suspension, etc. . . | 3 000 — |
| Total. . . . . | 12 à 14 000 fr. |

Digitized by Google

Le kilomètre de fil aérien pour seconde voie, isolateurs compris, coûte environ 3 000 fr.

Dans le cas de la suspension par consoles doubles, il y aurait lieu d'ajouter aux prix précédents 2 à 3 000 fr. par kilomètre.

On devra d'ailleurs, dans tous les cas, majorer le prix obtenu de 5 p. 100 environ pour tenir compte des sujétions particulières, telles que courbes, aiguillages, etc.

Les connexions de rails coûtent 1 500 à 2 000 fr. par kilomètre de voie simple.

Quant aux feeders, dont l'importance est essentiellement variable suivant les réseaux, on ne peut évaluer même approximativement leur coût d'établissement dans un exposé général ; néanmoins nous avons supposé, dans les exemples qui suivent, qu'ils pouvaient coûter de 6 à 7 000 fr. par kilomètre de ligne.

*Matériel roulant.* — Nous nous bornerons à rappeler les principaux prix donnés au chapitre VI (p. 410) :

| | |
|---|---|
| Automobile de 30 places à deux moteurs, environ . . | 15 000 fr. |
| Automobile de 50 places à deux moteurs. . . . . | 18 à 20 000 — |
| Voiture d'attelage . . . . . | 4 à 5 000 — |

En plus des voitures réellement en service, il faut en avoir un certain nombre en réserve ; suivant l'importance de l'installation, la proportion de ces dernières variera entre 40 et 25 p. 100.

*Usine génératrice.* — A titre d'approximation grossière, on peut estimer que la puissance en chevaux indiqués des machines génératrices, pour des lignes à profil moyennement accidenté telles que celles que nous avons en vue, devra être, par voiture automobile de 30 places en circulation, de :

30 à 25 chev., avec 1 à 5 voitures en service,
25 à 20 chev., — 5 à 10 — —
20 à 15 chev., — 10 à 15 — —
15 à 10 chev., au-dessus de 15 voitures en service.

Ces chiffres doivent naturellement être majorés lorsque les voitures sont plus grandes. Quant à l'adjonction d'une voiture remorquée, elle n'augmente guère que de 50 p. 100 la puissance nécessaire pour la propulsion d'une automobile.

Digitized by Google

Pour avoir l'importance totale de la force motrice à installer à l'usine, il faudra ajouter au nombre de chevaux indiqués ainsi obtenu une certaine proportion de puissance de réserve, qui pourra, suivant les cas, être prise égale à 100 p. 100, 50 p. 100 ou même 30 p. 100 de la puissance normale.

Le coût du matériel d'usine, comprenant les moteurs et chaudières, les dynamos, tableaux et accessoires, leur fondation et leur montage, varie habituellement entre 600 et 400 fr. par cheval indiqué, pour des puissances comprises entre 100 et 1 000 chev.

En ce qui concerne la superficie nécessaire pour l'installation des machines, on fera d'ordinaire une estimation suffisamment large en comptant 2 à 2,5 m² par cheval indiqué, suivant le type de machine (verticale ou horizontale, à grande ou à faible vitesse, à attaque directe ou à courroie). On peut évaluer la construction des bâtiments d'usine à 75 ou 80 fr. par mètre carré de surface couverte, soit environ 150 à 200 fr. par cheval.

*Installations accessoires.* — Les installations accessoires, comprenant les remises, cours, voies d'accès, ateliers, magasins, bureaux d'exploitation, outillage, mobilier, etc., constituent un facteur très variable, notamment suivant l'importance donnée à l'atelier de réparations, aux installations destinées à faciliter la visite et la manutention du matériel (fosses, engins de levage et de transbordement, etc.). A titre d'approximation, on peut compter qu'il faut par voiture 30 m² de surface couverte et de 30 à 15 m² de surface découverte suivant le nombre total des voitures. Les bâtiments peuvent revenir à 50 ou 60 fr. par mètre carré de surface couverte, soit 1 500 à 2 000 fr. par voiture, et les voies d'accès, canalisations électriques des remises, fosses à visite, etc., à environ 1 500 fr. par voiture.

Quant à l'outillage et au mobilier, ils peuvent coûter de 500 à 1 000 fr. par voiture en service, avec un minimum de 5 000 fr. environ pour l'ensemble de l'installation.

*Terrains.* — Un autre facteur sur lequel règne une grande incertitude est constitué par les acquisitions de terrains. Même dans une ville de province, la dépense de ce chef ne peut guère descendre au-dessous de 10 à 20 fr. par mètre carré, à cause

Digitized by Google

de la nécessité de ne pas placer l'usine trop loin du centre du réseau.

*Frais généraux.* — Enfin, dans le calcul des dépenses réellement faites pour l'installation d'une ligne doivent encore être portés en compte : d'abord les frais d'étude et de constitution de société, les dépenses d'administration, les sommes payées pour le service des intérêts du capital pendant la construction, les imprévus et divers, dont l'ensemble s'élève rarement à moins de 10 p. 100 de la somme des dépenses précédentes [1]; ensuite les frais d'entreprise générale et de direction des travaux, qui, suivant l'entrepreneur et l'importance de la ligne, peuvent varier de 10 à 15 p. 100; ce qui fait au total 20 à 25 p. 100 pour les frais généraux.

**Exemples d'application.** — C'est sur ces bases qu'ont été calculés, pour les quatre cas que nous avons pris comme exemples, les chiffres portés au tableau des pages 560 et 561.

Dans le premier cas, nous avons supposé la voie ferrée établie sur accotement, en rails Vignole de 20 kg., dans la moitié suburbaine de la ligne, et sur chaussée pavée, en rails Broca de 36 kg., dans sa moitié urbaine, et les travaux de réfection de chaussée très peu importants. Le fil aérien unique est suspendu sur consoles dans la première section et par fils transversaux dans la seconde, les supports étant constitués dans les deux cas par des poteaux tubulaires en acier. Nous avons admis que l'usine était placée au milieu de la ligne et qu'il n'y avait pas besoin de feeders.

Les voitures ont été comptées à 15 000 fr. l'une.

Pour calculer la puissance motrice nécessaire, nous avons pris le chiffre de 25 chev. indiqués par voiture en service, ce qui donne en tout 125 chev., et nous avons supposé l'usine composée de 2 unités semblables, dont l'une constituera la réserve, ainsi qu'il est logique de le faire pour une installation d'aussi faible importance. Nous avons évalué le prix des machines à 600 fr. par cheval indiqué et celui des bâtiments d'usine à 200 fr. par cheval.

Avec les installations accessoires à 4 500 fr. par voiture en service (dont 3 500 fr. de bâtiments et installations fixes et 1 000 fr. d'outillage), les terrains à 1 800 fr. par voiture et 20 p. 100 environ de frais généraux, la dépense de premier établissement s'élève au total de 137 000 fr. par voiture en service.

[1] Dans le cas où, au lieu de faire elle-même les études préliminaires et la demande de concession d'une ligne, la société constituée pour l'exploitation rachète cette concession à un courtier, ce taux peut se trouver réduit à 5 p. 100; mais on n'a plus alors de base d'estimation certaine, le prix payé au détenteur d'une concession étant réglé uniquement par la loi de l'offre et de la demande. Ce sont, du reste, les lenteurs de la procédure actuelle qui contribuent pour une grosse part à élever les frais généraux des compagnies poursuivant directement leurs demandes en concession et les font recourir à des intermédiaires, et il serait bien désirable, à ce point de vue, que les formalités pussent être abrégées.

Digitized by Google

DÉPENSES D'ÉTABLISSEMENT ET D'EXPLOITATION DE QUATRE LIGNES TYPES DE TRAMWAY A TRACTION ÉLECTRIQUE

| | 1re LIGNE | | | 2e LIGNE | | | 3e LIGNE | | | 4e LIGNE | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Longueur de la ligne en km | 5 | | | 5 | | | 10 | | | 20 | | |
| Voie | Simple. | | | Simple. | | | Double. | | | Double. | | |
| Nombre de voitures automobiles en service | 5 de 30 pl. | | | 10 de 30 pl. | | | 20 de 40 pl. | | | 60 de 50 pl. | | |
| Nombre de voitures automobiles en réserve | 2 | | | 3 | | | 5 | | | 15 | | |
| Nombre total de voitures automobiles | 7 | | | 13 | | | 25 | | | 75 | | |
| Nombre de voitures-kilomètres parcourus — par jour | 750 | | | 1 500 | | | 3 000 | | | 9 000 | | |
| Nombre de voitures-kilomètres parcourus — par an | 250 000 | | | 500 000 | | | 1 000 000 | | | 3 000 000 | | |
| Puissance totale de l'usine génératrice en chevaux indiqués | 250 | | | 300 | | | 500 | | | 1 200 | | |
| **Dépenses d'établissement** en francs | par km. de ligne. | par voiture en service. | totale. | par km. de ligne. | par voiture en service. | totale. | par km. de ligne. | par voiture en service. | totale. | par km. de ligne. | par voiture en service. | totale. |
| Voie ferrée | 30 000 | 30 000 | 150 000 | 30 000 | 15 000 | 150 000 | 70 000 | 35 000 | 700 000 | 100 500 | 33 500 | 2 010 000 |
| Canalisation électrique | 17 000 | 17 000 | 85 000 | 20 000 | 10 000 | 100 000 | 20 000 | 10 000 | 200 000 | 33 000 | 11 000 | 660 000 |
| Matériel roulant | » | 21 000 | 105 000 | » | 19 500 | 195 000 | » | 22 500 | 450 000 | » | 25 000 | 1 500 000 |
| Usine génératrice — Bâtiments | » | 10 000 | 200 000 | » | 6 000 | 240 000 | » | 4 375 | 375 000 | » | 3 000 | 810 000 |
| Usine génératrice — Machines | » | 30 000 | | » | 18 000 | | » | 14 375 | | » | 10 500 | |
| Installations accessoires — Bâtiments et installations fixes | » | 3 500 | 22 500 | » | 3 500 | 41 000 | » | 3 500 | 86 000 | » | 3 500 | 270 000 |
| Installations accessoires — Mobilier et outillage | » | 1 000 | | » | 600 | | » | 800 | | » | 1 000 | |
| Terrains | » | 1 800 | 9 000 | » | 1 500 | 15 000 | » | 1 400 | 28 000 | » | 1 700 | 102 000 |
| Frais généraux | | 22 700 | 116 000 | » | 14 000 | 149 000 | » | 18 050 | 361 000 | » | 17 800 | 1 068 000 |
| Total des dépenses d'établissement | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | » | 107 000 | 6 420 000 |

Digitized by Google

| Dépenses d'exploitation en francs | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Production de la force motrice. Personnel | 0,035 | | | 0,029 | | | 0,021 | | | 0,011 | |
| Charbon | 0,075 | 0,125 | | 0,062 | 0,105 | | 0,050 | 0,084 | | 0,037 | 0,058 |
| Graissage, eau, divers | 0,015 | | | 0,014 | | | 0,013 | | | 0,010 | |
| Personnel de conduite des voitures | » | 0,040 | | » | 0,040 | | » | 0,050 | | » | 0,050 |
| Visite, nettoyage et graissage du matériel roulant | » | 0,020 | 0,276 | » | 0,020 | 0,242 | » | 0,020 | 0,226 | » | 0,020 | 0,195 |
| Entretien et réparations de l'usine | » | 0,036 | | » | 0,022 | | » | 0,017 | | » | 0,012 |
| de la canalisation électrique | » | | | » | | | » | | | » | |
| | | 0,005 | | | 0,005 | | | 0,005 | | | 0,005 |
| du matériel roulant | » | 0,050 | | » | 0,050 | | » | 0,050 | | » | 0,050 |
| Inspection, nettoyage, entretien et réparations de la voie | » | » | 0,010 | » | » | 0,020 | » | » | 0,030 | » | » | 0,040 |
| Entretien et réparations des installations accessoires | » | » | 0,003 | » | » | 0,002 | » | » | 0,003 | » | » | 0,003 |
| Service de la perception et du trafic | » | » | 0,050 | » | » | 0,050 | » | » | 0,060 | » | » | 0,060 |
| Frais généraux | » | » | 0,120 | » | » | 0,100 | » | » | 0,080 | » | » | 0,080 |
| Total des dépenses d'exploitation proprement dites | » | » | 0,459 | » | » | 0,414 | » | » | 0,399 | » | » | 0,378 |
| Dépréciation et renouvellement du matériel | » | » | 0,096 | » | » | 0,065 | » | » | 0,086 | » | » | 0,087 |
| Amortissement et intérêts du capital d'établissement | » | » | 0,137 | » | » | 0,089 | » | » | 0,110 | » | » | 0,107 |
| Total général | » | » | 0,692 | » | » | 0,568 | » | » | 0,595 | » | » | 0,572 |



Digitized by Google

Si, sans accroître le nombre de voitures au kilomètre, on augmentait la longueur de la ligne, le poids du cuivre entrant dans la canalisation et par suite le coût de celle-ci augmenteraient rapidement; la dépense d'établissement pourrait se trouver très vite majorée de ce fait de 3 à 5 000 fr. par voiture en service.

Par contre, si le prolongement de la ligne est tel qu'il puisse être établi tout entier en voie Vignole sur accotement, avec fil aérien supporté par poteaux-consoles, l'économie qui en résultera pourra compenser et au delà le coût du cuivre supplémentaire. Le prix du matériel roulant par voiture en service ne changera pas, à moins qu'on ne puisse diminuer un peu la proportion de la réserve (que nous avions prise égale à 40 p. 100), ce qui amènerait une réduction correspondante sur le coût des remises et installations accessoires. En ce qui concerne l'usine génératrice, la puissance nécessaire par voiture et les frais d'établissement de cette puissance diminuent simultanément quand l'importance de l'installation augmente, sans compter que la réserve peut souvent aussi être réduite.

Si maintenant, la longueur de la ligne ne changeant pas, on augmente l'intensité du trafic, c'est-à-dire le nombre de voitures en service au kilomètre, le prix d'établissement par voiture subit immédiatement une réduction très marquée.

Pour en donner un exemple, reprenons le cas précédent, mais en supposant qu'il y ait 2 voitures en service par kilomètre au lieu d'une seule.

Le coût d'établissement de la voie par kilomètre de ligne ne change pas; par voiture en service, il devient donc moitié moindre.

Celui de la canalisation ne se réduit pas tout à fait autant, parce que nous avons supposé ici qu'on doublait le fil de service, pour augmenter la conductivité de la ligne et supprimer la gêne occasionnée par les aiguillages aériens.

Les voitures ont encore été comptées à 15 000 fr., mais la proportion de la réserve a été abaissée à 30 p. 100.

Pour l'évaluation de la puissance de l'usine, nous avons admis qu'il faudrait 20 chev. indiqués par voiture en service, plus 50 p. 100 de réserve, soit au total 300 chev., que nous supposons répartis en trois unités[1].

En admettant les mêmes prix unitaires que précédemment pour l'usine, les installations accessoires (sauf l'outillage, évalué à 600 fr. par voiture) et les terrains, la dépense d'établissement ressort à 89 000 fr. seulement par voiture en service.

[1] Cette répartition peut ne pas être la meilleure dans tous les cas, notamment si les variations journalières du débit ne sont pas très considérables ou si l'on prévoit à brève échéance une augmentation de trafic suffisante pour motiver l'achat d'un nouveau groupe de machines : il serait alors préférable de n'installer au début que 2 unités de 200 chev. chacune; le prix total d'établissement ne serait pas augmenté proportionnellement, parce que le prix de revient par cheval des machines diminue quand on accroît leur puissance et que l'importance relative des accessoires (tuyauterie, fondations, etc.) se trouverait réduite par suite de la diminution du nombre des unités; en l'espèce, on peut évaluer à 5 ou 6000 francs par voiture la plus-value qui en résulterait. La solution consistant à n'avoir que 2 unités, dont une de réserve, présente d'autre part des avantages pratiques de simplicité (notamment la réduction au minimum de la tuyauterie et des accessoires, où se produisent le plus fréquemment les avaries) qui la fait préférer d'une manière générale par certains ingénieurs jusqu'à 500 chev. environ

Digitized by Google

Le troisième cas se rapporte à une ligne de 10 km. de longueur entièrement urbaine, à double voie sur toute sa longueur, et comportant encore 2 voitures par kilomètre de ligne, soit en tout 20 voitures en service.

Nous supposons la voie en rails Broca de 36 kg., encastrés dans une chaussée dont le pavage est assez bon pour permettre le réemploi de la plus grande partie des anciens matériaux; les deux voies sont à l'écartement de 1,10 m.

La canalisation électrique est entièrement à suspension transversale, portée tantôt par des poteaux tubulaires en acier et tantôt par des rosaces, avec 3 000 fr. environ de feeders par kilomètre de ligne.

L'installation étant déjà plus importante, nous avons adopté des voitures automobiles de 40 places, coûtant 18 000 fr. l'une, au nombre de 25, y compris 25 p. 100 de réserve.

A raison de 17 chev. indiqués environ par voiture en service et de 50 p. 100 en plus pour la réserve, l'usine comportera une puissance totale de 500 chev., répartie comme précédemment en 3 unités semblables et dont nous évaluons le coût à 575 fr. par cheval pour les machines et 175 fr. pour les bâtiments.

Les installations accessoires ont été estimées à raison de 3 500 fr. par voiture en service pour les bâtiments et 800 fr. pour l'outillage, les terrains à 15 fr. le mètre carré et les frais généraux à 20 p. 100, comme dans le cas précédent. On arrive ainsi au total de 110 000 fr. par voiture en service.

Enfin, comme dernier exemple, nous avons pris un réseau de 20 km. de longueur, à double voie, avec 60 voitures en service, desservant une ville importante.

La voie est en rails Broca de 44 kg. et la chaussée pavée doit être en partie refaite.

Les fils aériens sont suspendus partie à des câbles transversaux, partie à des consoles doubles, les supports étant en tout cas constitués par des poteaux tubulaires en acier comportant une certaine ornementation; nous supposons de plus que l'alimentation de la ligne exige 7 000 fr. de feeders par kilomètre.

Le matériel roulant se compose de 75 voitures automobiles (y compris 25 p. 100 de réserve) de 50 places, à 20 000 fr. l'une.

A l'usine génératrice, il faudra environ 14 chev. indiqués par voiture en service, plus 50 p. 100 de réserve, soit au total 1 200 chev. répartis en 3 unités de 400 chev., dont nous avons évalué l'installation à 525 fr. par cheval pour les machines et 150 fr. pour les bâtiments.

En comptant 4 500 fr. par voiture en service d'installations accessoires (dont 1 000 fr. pour l'outillage), 1 700 fr. de terrains (à 20 fr. le mètre carré) et ajoutant 20 p. 100 pour les frais généraux, on arrive au prix total de 107 000 fr. par voiture en service.

## DÉPENSES D'EXPLOITATION

**Prix unitaires.** — En ce qui concerne les dépenses d'exploitation, les chiffres moyens ci-après peuvent servir de base à évaluation sommaire telle que celle que nous avons en vue :

Digitized by Google

Le coût de *production de l'énergie* nécessaire à la propulsion des voitures varie dans d'assez larges limites suivant les conditions locales, le taux des salaires, le prix du charbon, l'importance de l'installation, la vitesse des voitures, et aussi suivant un facteur plus difficile à préciser, l'habileté des mécaniciens, qui influe notablement sur la consommation d'énergie par voiture-kilomètre. Pour fixer un peu les idées, nous admettrons pour les salaires du personnel de l'usine les chiffres suivants, qui se rapprochent sensiblement de la moyenne des prix payés en France, hors Paris :

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Contremaître électricien . . . . . | 7 | à | 9 | fr. par jour. |
| Machinistes . . . . . | 5 | à | 6 | — |
| Chauffeurs . . . . . | 4,50 | à | 5,50 | — |
| Manœuvres . . . . . | 3,50 | à | 4,50 | — |

Étant donné les conditions de vitesse et de rampes admises dans les exemples qui suivent, on peut raisonnablement assigner aux machines une consommation de charbon comprise entre 3 kg. et 1,5 kg. par voiture-kilomètre, suivant le nombre des voitures en service. Quant au prix du charbon, qui varie en France de 15 à 30 fr. la tonne rendue à l'usine, nous le supposerons égal en moyenne à 25 fr., car le chiffre inférieur ne s'applique qu'aux exploitations situées d'une façon exceptionnellement avantageuse. à proximité de houillères, et il faut tenir compte en outre de ce que le prix du combustible est généralement grevé dans les villes de frais accessoires d'octroi, de camionnage, etc.

Le salaire du *personnel de conduite* des voitures est naturellement plus élevé dans les grandes villes que dans les petites. En général, sauf dans les centres très importants, il est compris entre 4 et 5 fr. par jour. Pour la durée ordinaire d'un service de tramway, c'est-à-dire 15 à 18 heures par jour, on compte 3 mécaniciens pour 2 voitures, soit une dépense de 0,04 à 0,05 fr. par voiture-kilomètre pour un parcours journalier moyen de 150 km. Cet élément de dépense s'élève rapidement quand le parcours journalier diminue.

La *visite, le nettoyage et le graissage du matériel roulant* ne coûtent ordinairement pas plus de 0,02 fr. par voiture-kilomètre.

Pour l'*entretien et les réparations du matériel roulant*, on peut

Digitized by Google

compter, dans des conditions de service moyennes et avec un entretien soigné, sur une dépense maxima de 0,04 à 0,05 fr. par voiture-kilomètre, y compris tous les frais de fournitures (charbon de forge, huile pour machines, éclairage et chauffage des ateliers, entretien de l'outillage, etc.) et de main-d'œuvre ; ces derniers sont, bien entendu, proportionnellement plus forts dans les petites installations que dans les grandes, où le travail peut être plus spécialisé et l'atelier pourvu de tous les dispositifs propres à économiser la main-d'œuvre, mais l'augmentation sera en général compensée par le taux plus élevé des salaires dans les villes où sont situées ces grandes installations.

L'*entretien et les réparations de la canalisation électrique* coûtent rarement plus de 0,005 fr. par voiture-kilomètre.

Quant à l'*entretien et aux réparations de l'usine*, on peut les évaluer d'ordinaire au taux de 5 p. 100 du prix d'établissement pour les machines et de 3 p. 100 pour les bâtiments.

Au total et à titre d'indication générale, nous pouvons dire que pour la somme des dépenses précédentes, comprenant l'entretien et le fonctionnement de l'usine, du matériel roulant et de la canalisation électrique, et les salaires du personnel de conduite des voitures, c'est-à-dire ce qu'on appelle généralement les *frais de traction*, les grandes compagnies de construction garantissent d'ordinaire un chiffre inférieur à 0,25 fr. par voiture-kilomètre [1].

A cette somme il faut ajouter : d'abord les dépenses de *nettoyage et d'entretien de la voie ferrée*, qui peuvent varier de 0,01 à 0,04 fr. par voiture-kilomètre, suivant la nature du revêtement, l'intensité de la circulation des voitures ordinaires dans les rues empruntées par le tramway, etc. (non compris, bien entendu, les enlèvements de neige et autres imprévus) ; ensuite l'*entretien et les réparations des installations accessoires*, qui ne coûtent, d'or-

[1] Les lignes électriques les plus anciennes étant de création relativement récente, on ne sait pas encore au juste si les dépenses d'entretien des diverses parties d'une installation de traction électrique n'augmenteront pas notablement à mesure que le matériel vieillira. Il est permis de croire que l'usure du matériel aura pour contrepartie une expérience plus grande du personnel appelé à s'en servir, qui aura pour effet de diminuer les causes d'avarie. On fera bien néanmoins de ne pas se fier à des évaluations par trop optimistes et c'est intentionnellement que nous avons donné d'une manière générale des chiffres plutôt un peu forts.

Digitized by Google

dinaire pas plus de 3 p. 100 par an de leur prix d'établissement; puis les *frais de perception et de trafic*, comprenant d'abord les frais de billets, les salaires du personnel des bureaux d'attente, des aiguilleurs, contrôleurs, etc., dont l'ensemble peut varier, suivant l'organisation de l'exploitation, entre 0,01 et 0,015 fr. par voiture-kilomètre, et les salaires des receveurs des voitures, qui atteignent en général le même chiffre que ceux des mécaniciens; enfin, les *frais généraux*, embrassant les frais d'administration, de bureau et d'annonces, les loyers, les frais de contentieux, les impôts et redevances, les indemnités pour accidents, les assurances, les frais divers, dont l'importance totale est très loin d'être négligeable, mais sur lesquels règne toujours une assez grande incertitude, car ils dépendent essentiellement de la direction générale de l'entreprise, de l'expérience et de l'intelligence des chefs et autres circonstances absolument indépendantes du mode de traction; on peut toutefois dire qu'en général, dans une exploitation bien conduite d'une certaine importance, les frais généraux ne doivent pas excéder 0,08 fr. par voiture-kilomètre; pour une petite ligne, ils peuvent facilement dépasser 0,10 fr.

Aux dépenses précédentes, qui constituent les *dépenses d'exploitation proprement dites* et varient suivant la perfection de l'installation, sa plus ou moins bonne administration et les prix locaux de main-d'œuvre et de fournitures, viennent enfin s'ajouter des *charges fixes*, dépendant de l'importance du capital engagé et de la durée de la concession.

D'après la jurisprudence actuelle, toutes les installations fixes, c'est-à-dire la voie ferrée et ses dépendances, les bureaux d'attente et de contrôle, les installations servant à la production et au transport de l'énergie électrique, doivent faire retour gratuitement à l'autorité concédante en fin de concession; seuls, les objets mobiliers, tels que le matériel roulant, l'outillage des ateliers, le mobilier des stations, restent la propriété de la compagnie exploitante et peuvent lui être rachetés en totalité ou en partie pour leur valeur en fin de concession; mais, ce rachat n'étant que facultatif, on fera bien, pour se donner une marge de sécurité, d'amortir la totalité du capital dans la durée de la concession, qui est ordinairement en France de 50 à 60 ans, soit au taux de 0,6 à 0,9 p. 100

Digitized by Google

par exemple, et ce indépendamment de l'amortissement spécial du matériel dont nous allons parler.

A la charge qui en résulte s'ajoute le service des intérêts du capital-obligations et des dividendes du capital-actions ; les premiers ne peuvent guère être inférieurs à 4 ou 4,5 p. 100 pour une entreprise industrielle ; nous compterons les dividendes au même taux, en englobant le tout sous la rubrique « intérêts du capital engagé », et prendrons au total 5 p. 100 pour l'*intérêt et l'amortissement du capital* réunis.

En outre, certaines parties du matériel, quelque bien entretenues qu'elles soient, s'useront avant la fin de la concession ; d'autres se démoderont et devront, comme les premières, être remplacées, si l'on veut conserver toujours à l'installation sa valeur primitive. Il faudra donc, si l'on n'a pas constitué au moment de l'établissement une réserve destinée à parer à ces renouvellements, porter chaque année en dépense au compte d'exploitation la somme nécessaire pour permettre de *renouveler ou d'amortir le matériel* au bout de sa durée normale. Malheureusement, on manque de bases exactes pour calculer le taux d'amortissement, car on n'est pas encore bien fixé sur la durée du matériel employé pour la traction électrique. La voie ferrée peut durer 15 à 20 ans ; elle devra donc être amortie au taux de 5 p. 100 environ. Une machine à vapeur ou une dynamo installée aujourd'hui est destinée à durer 20 ou 30 ans, mais les chaudières devront être remplacées au bout de 20 ans au plus tard ; machines, dynamos et chaudières subiront d'ailleurs dans l'intervalle de grosses réparations, de sorte qu'on peut estimer au total à 20 ans environ la durée dans laquelle doit être fait l'amortissement des machines et à 3,5 p. 100 le taux de cet amortissement. La durée de 20 ans paraît longue pour la canalisation électrique, dont une partie au moins, le fil de service, s'use assez rapidement par suite de l'action mécanique de l'appareil de prise de courant et des étincelles au contact ; en admettant pour l'ensemble une durée moyenne de 15 ans environ et un taux d'amortissement de 5 p. 100, nous croyons qu'on se tiendra dans de bonnes limites. Pour le matériel roulant et principalement pour l'équipement électrique, il est probable, quoiqu'on n'ait pas de données bien précises à ce sujet,

Digitized by Google

qu'ils demanderont une réfection totale au bout d'une douzaine d'années de service, de sorte qu'on ne peut guère prévoir pour leur amortissement un taux moindre que 7 p. 100. Quant aux bâtiments, ils auront vraisemblablement une durée au moins aussi longue que la concession et il n'y a pas lieu de se préoccuper de leur renouvellement.

C'est le total des charges fixes ainsi calculées et des dépenses d'exploitation précédentes qui devra être au moins égal au chiffre de recettes brutes prévu pour que l'entreprise soit viable, financièrement parlant.

**Exemples d'application.** — Le tableau des pages 560 et 561 résume les chiffres de dépenses calculés d'après ces bases dans les quatre cas choisis plus haut comme exemples.

Dans le premier, nous avons supposé que le personnel de l'usine comportait 1 contre-maître et deux équipes composées chacune d'un machiniste et d'un chauffeur. Pour les autres, nous avons ajouté successivement à chaque équipe 1 machiniste et 1 manœuvre, puis 1 chauffeur, enfin 3 chauffeurs et 1 manœuvre supplémentaires, en appliquant aux deux derniers cas le taux de salaires le plus élevé. On voit sur le tableau que, malgré cette augmentation, les frais de main-d'œuvre sont proportionnellement bien plus considérables dans les petites installations que dans les grandes, car il y a un certain minimum de personnel au-dessous duquel on ne peut descendre.

La consommation de charbon sera sans doute assez forte dans le premier cas, en raison du petit nombre des voitures en service : nous l'avons prise égale à 3 kg. par voiture-kilomètre [1]. Nous avons supposé que cette consommation s'abaissait, à mesure que le nombre des voitures augmentait, pour se réduire à 1,5 kg. par voiture-kilomètre avec 60 voitures en service : une augmentation du nombre des voitures diminue, en effet, à la fois la consommation *moyenne* d'énergie de chacune et la dépense de combustible par unité d'énergie produite par suite de l'amélioration du coefficient de charge de l'usine.

Nous avons supposé de même une certaine diminution de la dépense d'eau et de graissage par voiture-kilomètre correspondant à l'accroissement d'importance de l'usine.

Pour le salaire journalier du personnel de conduite et de perception, nous avons admis le chiffre de 4 fr. dans les deux premiers cas et celui de 5 fr. dans les deux autres.

Nous avons également compté une dépense d'entretien des voies plus forte

[1] Dans un cas semblable, il conviendrait en pratique d'examiner l'opportunité de l'installation d'une batterie d'accumulateurs permettant aux machines de travailler à pleine charge, malgré des variations de la consommation des voitures ; en dépit de la perte inévitable due aux accumulateurs, cette solution est souvent avantageuse au point de vue de la consommation de combustible et, en tout cas, elle permet de réaliser une certaine économie d'établissement, parce que les machines génératrices n'ont plus besoin d'être aussi puissantes, comme nous l'expliquons au chapitre XIV.

Digitized by Google

dans ces derniers, en supposant que la circulation plus intense des voitures ordinaires augmentait la fatigue de la voie ferrée et celle de la partie de chaussée entretenue par la compagnie de tramways.

Ces hypothèses nous ont conduits aux chiffres respectifs de 0,459 fr., 0,414 fr., 0,399 fr. et 0,378 fr. pour les dépenses d'exploitation proprement dites et de 0,692 fr., 0,568 fr., 0,595 fr. et 0,572 fr. pour les dépenses totales.

On voit que, pour une petite ligne à service peu intense, l'exploitation est lourdement grevée par les charges du capital d'établissement et par le prix de revient élevé de la force motrice. La solution qui consiste à emprunter l'énergie électrique à une station d'éclairage mérite, dans ce cas, d'être examinée sérieusement, malgré les inconvénients de l'immixtion d'un tiers dans l'exploitation d'un tramway. Cette combinaison permet, en effet, de limiter la dépense de premier établissement à l'équipement des lignes et du matériel roulant, et, si le courant n'est pas vendu plus de 0,15 à 0,18 fr. le kilowatt-heure, il peut y avoir économie pour une petite ligne à l'emprunter à une station centrale d'éclairage plutôt que de la produire directement.

Nous avons supposé dans tous les cas que le service se faisait exclusivement à l'aide d'automobiles. Il est intéressant de voir les modifications qui résulteraient de l'emploi de *voitures remorquées*.

Prenons, par exemple, le quatrième cas et supposons qu'on ajoute au matériel roulant en service 30 voitures remorquées. L'énergie nécessaire à la propulsion d'un train composé de deux voitures est loin d'être le double de celle absorbée par l'automobile seule : elle n'est généralement que de 50 p. 100 plus grande. En admettant ce chiffre, il faudra augmenter de 100 chev. la puissance de chacune des unités prévues ou de 300 chev. la puissance de l'usine, ce qui en majorera le prix de 195 000 fr., soit 3 250 fr. par voiture automobile en service. Le prix du matériel roulant sera augmenté de 2 500 fr., celui des installations accessoires de 1 000 fr., celui des terrains de 400 fr. et les frais généraux de 1 250 fr., soit au total 8 000 fr. par automobile en service.

Supposons que le parcours annuel total des voitures remorquées soit de 1 500 000 km. Le personnel de conduite ne changera pas, non plus que la dépense afférente à l'entretien de la canalisation électrique et de la voie. Si la consommation d'énergie s'accroit de 50 p. 100 par l'adjonction des voitures remorquées, la dépense de production de cette énergie ne sera pas tout à fait augmentée d'autant : en admettant que le service de l'usine nécessite 2 chauffeurs et 1 aide de plus et que chaque voiture d'attelage-kilomètre consomme 50 p. 100 de charbon et de fournitures diverses en plus, le supplément de dépense correspondant sera seulement de 0,028 fr. En y ajoutant 0,005 fr. pour le nettoyage et le graissage des voitures remorquées, 0,020 fr. pour le supplément d'entretien du matériel roulant, 0,006 fr. pour le supplément d'entretien de l'usine, 0,001 fr. pour le supplément d'entretien des installations accessoires, 0,050 fr. pour les salaires des receveurs des voitures remorquées, 0,020 fr. pour les frais généraux, 0,011 fr. pour le renouvellement du matériel supplémentaire et 0,016 fr. pour l'amortissement et l'intérêt du capital supplémentaire, on arrive au chiffre

Digitized by Google

total de 0,157 fr., qui représente le supplément de dépense par voiture automobile-kilomètre occasionné par la remorque d'une voiture d'attelage; ce supplément s'abaissera à 0,107 fr. si l'on se contente d'un seul receveur par train de 2 voitures. Le prix de revient du train-kilomètre de 2 voitures sera d'environ 0,73 fr. dans le premier cas et 0,68 fr. dans le second.

Il est bon aussi d'appeler l'attention sur l'influence du nombre des voitures en service et de leur parcours journalier, c'est-à-dire du *trafic* de la ligne, sur le prix de revient de la voiture-kilomètre.

Les frais de production de la force motrice n'augmentent pas proportionnellement au nombre des voitures en marche, ni en général à leur vitesse : en effet, dans les limites de capacité d'une usine génératrice, la dépense de main d'œuvre est sensiblement indépendante de la quantité d'énergie produite, de sorte que, rapportée au kilowatt-heure, elle diminue quand le débit de l'usine augmente ; le poids de charbon nécessaire pour produire un kilowatt-heure diminue également dans ces conditions, parce qu'une partie du combustible est employée à vaincre les résistances passives qui sont indépendantes du débit, et la quantité moyenne d'énergie consommée par voiture-kilomètre décroît elle-même quand le nombre des voitures augmente et aussi quand leur accélération est plus rapide[1] (voir t. II, p. 551). La dépense de main-d'œuvre par voiture-kilomètre pour la conduite des voitures, la perception et le contrôle diminue de son côté en raison inverse de l'augmentation du parcours kilométrique total, lorsque cette augmentation est obtenue au moyen d'un accroissement de vitesse. Il y a enfin une fraction importante des frais d'entretien de la canalisation électrique, de la voie ferrée, des frais généraux et des charges du capital d'établissement qui n'augmente pas proportionnellement au nombre de voitures-kilomètres parcourus, en sorte qu'au total le prix de revient du kilomètre-voiture diminue toujours quand l'intensité de la circulation augmente et que cette diminution est très sensible quand c'est le parcours individuel des voitures qui est accru.

[1] On admet en général que l'augmentation de dépense de charbon est à l'augmentation de parcours journalier dans le rapport 2/3.

Digitized by Google

**Systèmes de traction autres que le système à fil aérien.** — Les prix qui précèdent s'appliquent plus spécialement à la traction par conducteurs aériens. Avec des *conducteurs souterrains*, on peut considérer que les frais d'exploitation proprement dits seraient sensiblement les mêmes, sauf en ce qui concerne l'entretien de la canalisation électrique, qui occasionnerait sans doute une dépense plus considérable; mais il va sans dire que les charges financières provenant du capital engagé seraient beaucoup plus fortes, à cause du coût élevé de l'établissement des conducteurs souterrains, qui atteint facilement 90 à 100 000 fr. par kilomètre de simple voie, indépendamment de la voie ferrée et des feeders, ainsi que des travaux accessoires de réfection d'égouts, déplacements de conduites, etc.

Les lignes de tramway *à contact superficiel* existantes sont si peu nombreuses qu'on ne peut se hasarder à indiquer pour ce système des prix de revient même approximatifs. Le coût d'établissement de la canalisation est, en général, intermédiaire entre celui d'une ligne à trôlet et celui d'une ligne à distribution souterraine (soit 30 à 60 000 fr. par kilomètre de voie simple); en ce qui concerne les frais d'exploitation, nous dirons seulement que la Compagnie Westinghouse garantit, pour son système, un prix de traction de 0,30 fr. par voiture-kilomètre.

Avec la traction par *accumulateurs* seuls ou combinés avec une ligne aérienne, la puissance à prévoir à la station par voiture en service est en général plus faible que dans les cas précédents, bien que les voitures soient notablement plus lourdes, parce que, comme nous le disons au chapitre XIV (t. II, p. 674), l'influence des démarrages et autres causes de fluctuation dans la consommation de courant des voitures ne se fait pas sentir directement sur les machines génératrices; leur puissance peut être calculée en prenant comme base le travail moyen à fournir au lieu du travail maximum, et, par suite, sauf dans les grandes installations, l'usine génératrice coûtera plutôt un peu moins cher qu'avec la simple transmission directe de l'énergie.

Le prix de l'équipement électrique des voitures, abstraction faite des batteries, ne change pas sensiblement; il y a lieu toutefois de remarquer que le poids mort supplémentaire exige un truck plus robuste et des moteurs plus puissants.

La dépense de la canalisation électrique est évitée sur tout ou partie du parcours [1]. Mais on doit compter, en revanche, celle des accumulateurs et celle des installations de chargement, qui est importante si les batteries ne sont pas laissées à demeure sur les voitures. Une batterie ordinaire de tramway coûte, tout installée, de 4 à 6 000 fr. Avec la charge lente (t. II, p. 666), il faut au minimum 2 batteries par voiture en service, ce qui, avec la réserve indispensable, correspond à une dépense de 10 à 14 000 fr.; si l'on y ajoute les frais d'installation des appareils de chargement et de manutention des batteries (bancs de charge, wagonnets, circuits électriques, etc.), l'achat du terrain et la construction de la halle de chargement, on arrive facilement à un total de 16 à 20 000 fr. par voiture en circulation. Avec la charge rapide, les batteries

[1] Cependant, si le lieu de charge est hors de l'usine, il faut des feeders, ou un supplément de feeders, dans le cas de la traction mixte, pour transmettre le courant de charge.

Digitized by Google

restant sur les voitures, ces installations accessoires deviennent inutiles; mais il faut toujours prévoir une certaine réserve (25 p. 100 au moins) et, en outre, si la charge se fait en des postes fixes, un supplément de matériel roulant restant en stationnement pendant le chargement des accumulateurs; les frais d'installation des accumulateurs sur les voitures ressortent ainsi à 6 à 9 000 fr. par voiture en service; par exemple, à Hanovre, cette installation a coûté 6 175 fr, et sur le réseau de Paris-Courbevoie-Levallois, 9 000 fr.

Tous ces frais d'établissement sont d'ailleurs simplement proportionnels au nombre des voitures en service, contrairement à ce qui a lieu pour la canalisation électrique du système à fils aériens.

Quant aux dépenses d'exploitation, elles diffèrent de celles d'une ligne à trôlet par la suppression de l'entretien de la canalisation, la plus grande dépense d'énergie motrice et l'adjonction des frais d'entretien et éventuellement de manutention des batteries.

La consommation d'énergie par voiture-kilomètre est plus forte, parce que, d'une part, le poids mort à remorquer est de 30 à 50 p. 100 supérieur, et que, d'autre part, le rendement total du système est un peu moins bon (0,30 à 0,35 au lieu de 0,35 à 0,40); mais la charge des machines génératrices étant plus uniforme, l'effet utile du combustible brûlé se trouve accru, de sorte que la consommation de charbon n'augmente pas proportionnellement à la dépense d'énergie. Elle peut même, dans de petites installations comme celle de Hanovre, rester sensiblement la même (voir t. II, p. 697). En outre, la régularité plus grande du fonctionnement des machines peut réduire accessoirement dans une faible proportion les frais d'entretien de l'usine.

Les frais d'entretien et de renouvellement des batteries sont peu connus, tout au moins avec précision, parce que les fabricants d'accumulateurs, qui en entreprennent généralement l'entretien à forfait, n'aiment guère divulguer leurs chiffres de dépenses réels. Nous pouvons dire cependant que la Compagnie des tramways de Paris et du département de la Seine, qui payait primitivement 0,12 fr. par voiture-km. pour l'entretien et le renouvellement de ses plaques, accuse maintenant pour cet article une dépense de 0,10 fr. environ, aussi bien pour ses lignes à traction par accumulateurs seuls (accumulateurs Sarcia sur les lignes de Saint-Denis et Tudor sur celles de Neuilly-Courbevoie-Levallois) que pour la ligne toute récente à traction mixte de la place de la République à Aubervilliers (accumulateurs Tudor)[1]. Le même prix de 0,10 fr. par voiture-km.

[1] Comme renseignement d'ensemble, nous pouvons dire que, sur les diverses lignes de la Compagnie des tramways de Paris et du département de la Seine, les frais de traction des voitures à accumulateurs se répartissent de la façon suivante :

| | | fr. par voiture-km. |
|---|---|---|
| Production de la force motrice | | 0,08 à 0,13 |
| Graissage et entretien du matériel roulant | moteurs | 0,03 à 0,05 |
| | caisses et trucks | 0,06 |
| Entretien et renouvellement des accumulateurs | | 0,10 |
| Personnel de conduite des voitures | | 0,08 |
| Manutention des accumulateurs | | 0,04 |
| Total | | 0,35 à 0,46 fr. |

Les chiffres inférieurs s'appliquent aux lignes de Courbevoie et Levallois, dont le

Digitized by Google

était perçu à Birmingham, sur une ligne accidentée, par la Compagnie Epstein pour maintenir en bon état les batteries de son système. Le chiffre de 0,10 fr a été reconnu trop élevé, parait-il, sur la ligne de la Haye à Scheveningen (accumulateurs Julien), qui n'a pas de rampe supérieure à 0,015, malgré le poids élevé des voitures (16 à 18 t. en charge). A Bruxelles, les frais d'entretien des accumulateurs Julien, d'abord estimés à 0,10 fr. par voiture-km., ont été réduits en pratique à 0,06 ou 0,07 fr. La Compagnie Westinghouse évalue les frais d'entretien des accumulateurs à 0,03 fr. par voiture-km. motrice et 0,01 fr. par voiture-km. remorquée; mais ces chiffres sont certainement trop faibles.

Dans la traction mixte, les accumulateurs n'étant pas déchargés à fond, leur entretien doit se trouver réduit. A Hanovre et à Dresde, la Société de Hagen, qui a fourni les batteries, en garantissait au début le fonctionnement régulier moyennant une somme à forfait de 2 000 fr. par an, ce qui, pour un parcours annuel de 35 000 km. environ, représentait 0,055 fr. par voiture-km.; actuellement, les compagnies de tramways assurent elles-mêmes l'entretien de leurs accumulateurs, et, d'après M. Ross[1], le coût de cet entretien ne s'élèverait à Hanovre qu'à 0,0164 fr. par voiture-km. fournie par les accumulateurs et 0,00617 fr. par voiture-km. totale; mais ces chiffres, qui sont basés sur les résultats de quatre mois d'exploitation seulement, mériteraient confirmation.

En ce qui concerne la manutention des batteries, elle coûtait à l'usine de Saint-Denis 0,06 fr. par voiture-km. avec les anciennes voitures à caisses logées sous les banquettes; avec le type plus récent de véhicule où la caisse unique d'accumulateurs est placée entre les essieux, elle ne revient plus qu'à 0,04 fr. environ. Dans l'exploitation de la Haye-Scheveningen, cette manutention coûte 0,02 fr. par voiture-km. Ce chef de dépense ne parait guère pouvoir descendre au-dessous de ce dernier chiffre; il s'annule, bien entendu, lorsque les batteries restent à demeure sur les voitures.

**Traction électrique des trains de chemins de fer.** — Il serait prématuré de vouloir indiquer des chiffres de prix de revient de la traction électrique sur les chemins de fer; nous croyons seulement intéressant de donner ici quelques renseignements sur l'exploitation électrique du tunnel de Baltimore (voir t. I, p. 455).

profil est relativement peu accidenté (rampe maxima 0,039 sur 100 m.); les chiffres supérieurs aux lignes de Paris-Saint-Denis, qui présentent de longues rampes de 0,035 et 0,038; cette dernière exploitation est en outre grevée jusqu'ici des frais de manutention des accumulateurs, qui n'interviennent pas dans les autres; mais on met en ce moment en service à Saint-Denis des voitures (type Johannet) sur lesquelles la batterie reste à demeure; comme, d'autre part, le poids de la batterie est doublé, on y trouve en même temps un avantage au point de vue de l'entretien des accumulateurs. Les chiffres précédents ne comprennent ni amortissement ni intérêts du capital.

Disons encore qu'à Hanovre M. Ross estime à 0,0625 fr. environ par voiture-kilomètre les frais d'exploitation supplémentaires occasionnés par les accumulateurs, intérêts et amortissements compris, mais déduction non faite des intérêts du capital d'établissement de la portion de ligne aérienne qu'ils remplacent.

[1] *E. T. Z.*, 1er avril 1897.

Digitized by Google

D'après le constructeur, cette installation a coûté :

| | |
|---|---|
| Usine électrique (3 500 kw.) | 1 711 500 fr. |
| Canalisation électrique[1] sur 5 850 m. de longueur | 725 400 — |
| Trois locomotives | 630 000 — |
| Total | 3 066 900 fr. |

Les dépenses d'exploitation, pendant les mois d'octobre 1895 et de décembre 1897, ont été respectivement les suivantes :

Dépenses de l'usine :

| | Octobre 1895. | Décembre 1897. |
|---|---|---|
| Main-d'œuvre | 6 729 fr. | 10 794 fr. |
| Charbon (à 6,75 fr. la tonne) | 2 005 — | 11 592 — |
| Eau | 253 — | 1 118 — |
| Huile, chiffons | 756 — | 525 — |
| Fournitures diverses | | 404 — |
| Entretien des bâtiments | 127 — | 436 — |
| Total | 9 870 fr. | 24 869 fr. |

Service des machines et de la ligne :

| | | |
|---|---|---|
| Machinistes | 1 000 fr. | 1 575 fr. |
| Conducteurs | » | 1 180 — |
| Nettoyage | » | 183 — |
| Entretien | » | 619 — |
| Fournitures | 61 — | 41 — |
| Total | 1 061 fr. | 3 598 fr. |
| Total général | 10 931 fr. | 28 467 fr. |

La production de l'usine pendant le mois de décembre 1897 ayant été de 612 000 kw.-h., le prix de revient correspondant du kw.-h. est de 0,0404 fr., dont 0,0364 fr. pour la main-d'œuvre et le charbon. Il y a lieu de remarquer que, sur les 612 000 kw.-h. produits, 74 000 seulement ont été employés à la traction, 333 000 étant vendus à des compagnies de tramways électriques et 205 000 employés à l'éclairage et à divers autres usages. Nous n'avons pas la production correspondante du mois d'octobre 1895 ; mais, en juillet 1896, quand la Compagnie de Baltimore et Ohio n'avait pas encore trouvé à vendre de l'énergie à des tiers, elle a dépensé, pour une production de 250 000 kw.-h. environ, 0,068 fr. par kw.-h. en charbon et main-d'œuvre à l'usine, soit près du double du chiffre précédent.

On estime que la traction des trains de marchandises entre Camden Station et Mont-Royal, sur la rampe de 0,008, consomme 35 w.-h. par t.-km. de train complet (y compris le poids de la locomotive électrique), ce qui, avec le prix de revient actuel de l'énergie et en supposant la perte en ligne égale à 10 p. 100, représente une dépense de 0,0015 fr. par t.-km.

[1] Cette canalisation, composée d'un système de deux fers entre lesquels glisse une navette de prise de courant et qui sont soutenus, ainsi que les feeders, par une charpente métallique compliquée, est inutilement coûteuse, et l'on emploierait de préférence aujourd'hui un troisième rail.

Digitized by Google

# APPENDICE N° 2

## CONDITIONS DE SÉCURITÉ, RÉGLEMENTATION ET CONTROLE TECHNIQUE DES INSTALLATIONS DE TRACTION ÉLECTRIQUE [1]

### § 1. — Mesures de sécurité

**Généralités.** — Une exploitation de traction électrique intéresse la sécurité publique à deux points de vue :

Par la disposition et le fonctionnement du matériel roulant ;

Par la disposition et le fonctionnement de la distribution d'énergie qui alimente les voitures motrices.

Bien que le second point de vue sorte du cadre immédiat de cet ouvrage et que nous nous réservions de le traiter plus complètement dans un autre travail, nous avons jugé utile d'indiquer ici très sommairement les considérations pratiques qui peuvent donner une idée générale et autant que possible suffisamment au point des règles à insérer dans les cahiers de charges ou règlements et du rôle du contrôle technique. En raison de son caractère même, le présent appendice n'a aucune prétention à être complet, et l'on nous excusera si nous y donnons en particulier moins de renseignements bibliographiques que dans le reste de l'ouvrage.

#### I. — Dangers provenant du matériel roulant électrique

La circulation des automobiles de tramways électriques sur la voie publique peut être une source de dangers soit pour les pié-

[1] Il va sans dire que toutes les indications données dans cet appendice ne sont que l'expression de notre opinion personnelle et n'ont reçu aucune approbation, même indirecte, des administrations dont nous analysons le rôle tel que nous le comprenons.

Digitized by Google

tons ou les véhicules ordinaires qui suivent la même voie, soit pour les voyageurs eux-mêmes.

Les dangers pour les piétons et les véhicules ordinaires, communs à tous les systèmes de traction mécanique, peuvent provenir d'une vitesse exagérée, du défaut de signaux avertisseurs, du déraillement de la voiture, de l'insuffisance des moyens d'arrêt. Quant aux dangers pour les voyageurs, ils résident principalement dans les difficultés d'accès aux voitures et dans les contacts éventuels avec les appareils ou circuits électriques.

**Dangers d'une allure trop rapide.** — Pour éviter les accidents dus à une allure trop rapide des véhicules, on doit d'abord réglementer la vitesse sur les diverses parties du parcours[1], en ayant soin de distinguer les sections situées au centre de l'agglomération (3 à 12 km : h), les sections en faubourg (12 à 16 km : h) et les sections suburbaines (16 à 20 km : h) ; dans les premières, on fixera au besoin des points de ralentissement (6 à 8 km : h) à la traversée de certaines rues étroites ou très fréquentées, de certaines places et en outre au passage des croisements et aiguillages de la voie pour éviter les déraillements.

Le choix des différentes vitesses limites dépendra dans une large mesure de la largeur des voies, de leur fréquentation et autres circonstances locales.

En Angleterre, pour assurer un maximum absolu (16 km : h), le Board of Trade, dont on trouvera plus loin le règlement type, a imposé en principe l'emploi sur toutes les automobiles électriques d'un disjoncteur automatique limiteur de vitesse, mettant les moteurs hors de circuit dès que cette allure maxima est dépassée. On n'a pu encore rendre cette mesure obligatoire, faute d'un appareil automatique satisfaisant, mais il ne paraît pas impossible d'en trouver un qui réponde à la question.

Cette disposition a cependant l'inconvénient d'entraîner des arrêts des voitures[2] et surtout celui d'assurer seulement une limitation

[1] Voir ce que nous avons déjà dit à ce sujet t. I, p. 103, et t. II, p. 600.

[2] On ne peut songer, en effet, à employer un disjoncteur-conjoncteur qui rétablira le courant après l'avoir coupé, parce que cet appareil donnerait lieu à une série périodique de ruptures et de fermetures de circuit qui le mettraient bientôt hors d'usage.

Digitized by Google

*maxima* de la vitesse, alors que des valeurs bien inférieures à la limite fixée peuvent encore être trop élevées pour les parties urbaines du parcours. Il nous semblerait plus pratique de placer sur les voitures des enregistreurs de vitesse dont on vérifierait de temps en temps les indications, lesquelles serviraient de base à l'application de pénalités. La même vérification pourrait aussi se faire, si l'on préférait, en des points particuliers du parcours, à l'aide de pédales disposées le long de la voie, comme celles qui servent à mesurer la vitesse des trains de chemins de fer.

**Signaux avertisseurs.** — Pour prévenir les piétons et conducteurs de voitures ordinaires de l'approche des automobiles, il est nécessaire de recourir à des signaux facilement perceptibles de loin.

Toute voiture électrique isolée ou tout train électrique est, du reste, soumis en France, comme les autres véhicules de tramways, aux règles imposées par les articles 27 et 32 du décret du 6 août 1881, c'est-à-dire à l'obligation de porter pendant la nuit des feux de signal extérieurs (rouge à l'avant, vert à l'arrière) et d'être muni d'un appareil avertisseur sonore, que le mécanicien devra faire fonctionner toutes les fois que ce sera utile.

**Moyens d'arrêt.** — La sécurité du public, aussi bien que celle des voyageurs, exige que les voitures ou trains soient munis de moyens d'arrêt puissants et rapides.

Pour fixer les conditions d'arrêt, on conservera, dans les villes à déclivités moyennes, la règle dite « des trois vingts » (voir t. II, p. 736) imposée aux locomotives à vapeur par le décret du 6 août 1881 ; mais on fera bien de la rendre plus stricte en limitant le parcours d'arrêt à 15 m., par exemple, au lieu de 20 ; on la complétera, dans les villes à fortes rampes, par la limitation de la vitesse à la descente suivant les principes indiqués au chapitre XV (t. II, p. 740).

Ces prescriptions ne nous paraissent même pas suffisantes, étant donnée l'importance capitale du freinage pour les trains électriques : on devra, croyons-nous, même si la condition précitée est remplie sans cela, munir les voitures d'attelage, toutes les fois que leur nombre sera supérieur à un ou que les déclivités dépasseront 0,020, de freins pouvant être manœuvrés par le mécanicien en même



Digitized by Google

temps que ceux de l'automobile. Au lieu de considérer les freins pneumatiques ou électriques comme des freins de secours et les freins à main comme les freins d'usage normal, on devra n'admettre l'emploi de ceux-ci qu'à titre exceptionnel. Comme les freins mécaniques s'adaptent aisément aux essieux des voitures d'attelage, on sera ainsi conduit, au moins sur les réseaux où les pentes dépassent 0,020, à adopter sur toute automobile ou tout train deux systèmes de freinage différents : en premier lieu le freinage de *tous les essieux* au moyen d'un frein instantané électrique ou pneumatique, en second lieu un freinage de secours, constitué soit par des appareils du même genre, soit (pour un train léger) par des freins à main satisfaisant à la règle « des trois vingts » modifiée, qu'on ne devra employer qu'en cas de défaut des freins instantanés [1]. Ces freins devront d'ailleurs pouvoir être également manœuvrés par le receveur de sa place habituelle. Comme, malgré tout, des tamponnements peuvent se produire, il sera sage de prescrire l'emploi de garde-roues et d'appareils chasse-corps ou protecteurs (voir p. 400).

Moyennant ces précautions, on pourra se dispenser de limiter le nombre des voitures d'attelage et d'exiger la présence d'un receveur sur chacune d'elles quand leur nombre sera supérieur à un. Il est bon cependant de veiller à ce qu'on ne fasse pas des trains électriques trop longs ; l'intérêt du public et même de l'exploitant est d'avoir des trains légers et nombreux : dans les installations à trôlet, on réduit ainsi la puissance des machines génératrices, ce qui n'a pas lieu avec les autres systèmes de traction mécanique.

**Conduite des voitures.** — La conduite d'un train peut, d'après ce qui précède, être assurée d'une façon satisfaisante au point de vue de la sécurité, grâce à l'emploi des freins continus, par un seul mécanicien et un seul receveur qui, d'après l'article 32 du décret précité, doit se tenir sur la dernière voiture et être en communication avec le mécanicien et qui devra de plus avoir à sa portée

[1] Toutes ces conditions sont plutôt moins sévères que celles qu'on impose aujourd'hui à d'autres entreprises de traction mécanique : par exemple, sur certains tramways à vapeur, on exige l'arrêt en 10 m. pour un train descendant à la vitesse de 20 km : h. une pente de 0,049, l'emploi de freins continus à air comprimé, la limitation du nombre des voitures à 3 et la présence d'un receveur sur chacune d'elles.

Digitized by Google

une commande directe des freins. On pourra donc supprimer les gardes-freins prévus par ce règlement. S'il s'agit d'une automobile isolée, on peut même, dans certains cas, se passer du receveur, comme sur certaines lignes allemandes (voir p. 349), à condition que le mécanicien n'ait jamais à s'occuper des voyageurs.

Il est bon, dans tous les cas, pour laisser à ce dernier sa liberté complète d'esprit et de mouvements, de l'isoler sur la plate-forme d'avant, soit en en interdisant l'accès aux voyageurs, comme le décret du 6 août 1881 le prescrit pour les locomotives à vapeur et comme on le fait maintenant à Paris pour toutes les voitures de tramways, soit en l'isolant par une barrière amovible comme sur certaines lignes allemandes et suisses (voir t. I, p. 342), soit tout au moins en défendant au public de le déranger et de lui adresser la parole. La plate-forme devra être disposée de façon à lui donner une vue bien dégagée sur la voie et à le protéger autant que possible contre le vent et la pluie qui peuvent gêner sa vue.

**Accès aux voitures.** — Les moyens d'accès aux voitures doivent être disposés de façon à rendre l'entrée et la sortie des voyageurs aussi promptes que possible, tout en évitant les risques d'écrasement, soit par les voitures de tramway elles-mêmes, soit par les autres véhicules. On ne devra donc jamais laisser monter ou descendre les voyageurs que par l'arrière ; s'il y a des entrées de chaque côté, on devra pouvoir interdire absolument l'accès de la voiture du côté de l'entre-voie ; en outre toutes les voitures d'attelage devront être pourvues de chasse-corps efficaces pour empêcher l'écrasement des personnes qui tomberaient de la voiture remorqueuse.

**Protection des voyageurs à l'intérieur des voitures.**— Les voyageurs doivent être mis dans l'impossibilité matérielle de toucher les moteurs ni aucune partie des circuits électriques, dont le contact risquerait de leur occasionner des secousses et des brûlures dangereuses. Dans ce but, il faut que tous les câbles et appareils soient aussi bien isolés et protégés que possible, que les fusibles, parafoudres, etc., soient placés de façon qu'aucune parcelle de métal fondu ne puisse être projetée sur les voyageurs.

Digitized by Google

La perche du trôlet ne doit pas non plus pouvoir être touchée par les voyageurs, même sur les voitures à impériale, où la base de l'appareil devra en outre être entourée d'une gaine bien isolée de la ligne et reliée au truck par une communication directe, de façon qu'elle ne puisse jamais prendre un potentiel supérieur à celui du sol.

Pour assurer complètement la sécurité, il convient cependant de prévoir la possibilité exceptionnelle d'un contact et de limiter en conséquence les potentiels aux valeurs indiquées plus loin (p. 604).

Tout échauffement exagéré d'un conducteur pouvant amener l'inflammation d'un câble, on doit exiger l'emploi sur chaque voiture de coupe-circuits ou de disjoncteurs, ainsi que d'un interrupteur de sûreté placé sous la main du mécanicien. Un parafoudre est de même nécessaire pour protéger le véhicule contre les décharges atmosphériques sur les lignes aériennes en les conduisant directement à la terre. On a vu dans les spécifications (t. II, p. 427) les principales conditions auxquelles doivent satisfaire ces appareils.

## II. — Dangers des distributions d'énergie employées pour la traction électrique

**Généralités.** — Le fonctionnement d'une distribution d'énergie électrique sur la voie publique intéresse à la fois la sécurité et les services publics.

La sécurité publique peut être compromise par cette distribution de plusieurs façons :

1° Par le contact accidentel d'un des câbles ou fils portant le courant avec des personnes ou des animaux, soit directement, soit par l'intermédiaire d'un corps plus ou moins conducteur, ou bien avec les voitures, qui peuvent ainsi être incendiées ;

2° Par l'échauffement exagéré d'une portion de canalisation, capable de déterminer un incendie ou de faire tomber des fils fondus sur les passants ou les voitures ;

3° Par la propagation d'une décharge d'électricité atmosphérique le long des fils du réseau distributeur qui servent ainsi d'agent de transport de la foudre ;

4° Par des dérivations de courant dans le sol, capables d'attaquer

Digitized by Google

par électrolyse les conduites de gaz ou les enveloppes de câbles électriques souterrains et de produire ainsi des dangers indirects résultant du mauvais état de ces canalisations.

D'autre part, d'importants services publics peuvent être gênés par les exploitations de traction électrique.

Ce sont en première ligne les distributions de gaz et d'eau, lorsque les conduites placées sous la chaussée sont attaquées électrolytiquement par les courants électriques d'un tramway. On peut considérer d'ailleurs la destruction des conduites d'eau comme un danger pour l'hygiène publique, car elle peut entraver le bon fonctionnement de la distribution de l'eau dans une ville; s'il s'agit d'une conduite desservant des établissements militaires, il peut même y avoir là une cause de dangers pour la défense nationale.

En second lieu viennent les services télégraphiques et téléphoniques, dont les courants variables des tramways et chemins de fer électriques peuvent troubler ou même empêcher complètement le fonctionnement par des effets de mélange de courants ou d'induction; la pénétration accidentelle d'un courant de traction dans les fils télégraphiques ou téléphoniques, qui peut occasionner des incendies ou des secousses à des agents ou des abonnés de ce dernier service, rentre dans les atteintes à la sécurité énumérées plus haut et sera étudiée avec elles.

Nous allons examiner successivement les divers dangers et inconvénients que nous venons d'énumérer et indiquer sommairement les modes de préservation correspondants.

**Dangers de contact direct des personnes avec les fils ou câbles de distribution.** — Un contact n'est dangereux que si l'on touche deux conducteurs à des potentiels différents. La différence de potentiel dangereuse semble pouvoir être fixée, d'après l'expérience américaine, à 600 volts environ pour les courants continus. Pour les courants alternatifs, la limite pratique est plus difficile à fixer[1]: un contact accidentel n'est dangereux qu'au delà de 100 volts;

[1] Elle dépend d'ailleurs de la fréquence des oscillations ; les expériences de M. d'Arsonval ont montré que la douleur provoquée par le passage du courant croît vite avec la fréquence quand celle-ci est de l'ordre de grandeur de celle des appareils industriels ; elle diminue aux très hautes fréquences et arrive même à disparaître complètement quand les oscillations se comptent par millions à la seconde.

Digitized by Google

mais, comme l'ont montré M. d'Arsonval et M. Monmerqué, si l'on touche les deux conducteurs avec les mains, on ne peut plus les lâcher dès 25 volts et l'on peut rester soumis ainsi à des phénomènes de contraction douloureux, à une fatigue nerveuse (inhibition) et à un échauffement qui peuvent amener une syncope suivie d'asphyxie[1].

En France, l'arrêté préfectoral type du 15 septembre 1893 avait fixé les limites de voltage admissibles avec des conducteurs d'énergie ordinaires nus à 400 (portée plus récemment à 600) et 120 volts respectivement ; mais il réservait la question des distributions de traction électrique. Ces prescriptions peuvent néanmoins trouver provisoirement leur application pour les fils et feeders aériens des tramways à trôlet ordinaires, car tout piéton traversant la chaussée, s'il se trouve accidentellement mis en contact avec le conducteur d'aller, est soumis à la différence de potentiel totale, même s'il ne touche pas directement l'un des rails. Mais ces chiffres sont peu favorables au point de vue économique et le ministre des Travaux Publics sera amené sans doute à adopter, au moins en dehors des villes, des limites plus élevées, comme on le fait en Suisse[2], par exemple 750 volts en courant continu et 250 volts en courants alternatifs. Ces chiffres pourraient être portés à 1000 et 500 volts respectivement sur les chemins de fer, parce que le ballast et les traverses constituent un certain isolement entre la plate-forme et les rails.

A ces remarques générales il faut ajouter que, même à 5 ou 600 volts, le courant continu produit une secousse très pénible et donne lieu à des brûlures graves ; ensuite, il est mortel pour les chevaux, de même que le courant alternatif à 120 volts. Il y a donc un intérêt capital, tout en acceptant ces voltages élevés, à

[1] Pour plus de détails, voir les mémoires de M. d'Arsonval et l'ouvrage de M. Monmerqué, *Contrôle des Installations Électriques*, p. 230 et suivantes.

[2] En Suisse, une loi récente du Conseil fédérale, rendue d'après un rapport détaillé du Prof. H. F. Weber de Zürich, fixe les limites de tension entre conducteurs dans les trois cas que nous considérons, à 1000, 750 et 1000 volts respectivement en courant continu, et 750, 550 et 400 volts respectivement en courants alternatifs. Ces trois derniers chiffres nous paraissent beaucoup trop élevés et de nature à donner une fausse idée du rapport entre les dangers de chacune des deux espèces de courant. A Lugano, par exemple, la tension de 400 volts entre les fils du trôlet et la terre a déjà occasionné plusieurs accidents mortels et on cite en Allemagne trois cas de mort dans des usines à 220 volts.

Digitized by Google

imposer, comme on va le voir, des mesures de préservation qui empêchent efficacement tout contact avec des conducteurs à potentiel différent.

1° *Tramways à fils aériens.* — Pour les tramways à fils aériens, la première précaution à prendre, c'est de placer les fils à une hauteur suffisante pour que, même, avec leur flèche maxima, ils ne puissent toucher le toit des voitures, ni a fortiori les voyageurs de l'impériale lorsqu'il y en a.

D'après le règlement du 15 septembre 1893, les conducteurs nus doivent être placés à 6 m. au moins au-dessus des voies publiques quand ils les suivent et à 8 m. quand ils les traversent. Le premier chiffre doit être considéré comme un minimum pour les tramways.

On doit, en outre, prévoir l'éventualité, heureusement rare, de la rupture de fils ou de câbles, qu'on réduira tout d'abord en évitant tous les feeders aériens qui ne sont pas indispensables. En général, les chutes accidentelles de fils sont doublement dangereuses en raison du choc mécanique et du choc électrique auxquels elles donnent lieu. S'il est impossible d'empêcher les deux bouts d'un fil brisé de tomber sur la voie publique, on doit au moins chercher à rendre cette chute rare et inoffensive.

On proscrira donc en premier lieu pour le fil de trôlet les sections trop faibles (on prendra par exemple comme diamètre minimum 7 mm.), pour empêcher les ruptures causées par la pression du trôlet, et les sections trop fortes (diamètre maximum 10 mm.), pour éviter des chocs trop violents si le fil vient à se détendre brusquement. La section du fil, aussi bien que celle des câbles et poteaux de support, devra d'ailleurs être justifiée par des calculs de résistance des matériaux basés sur les efforts mécaniques dus à la tension des câbles : ces efforts se déterminent d'après le poids des câbles et d'après leur disposition géométrique (portée, flèche, etc.) suivant les règles ordinaires, en tenant compte des variations de température et de la pression du vent s'il y a lieu[1]. On se donnera un coefficient de sécurité d'au moins 1/5.

[1] Les nombreux exemples de lignes renversées par des ouragans aux États-Unis montrent la nécessité de tenir compte des vents les plus violents : à Saint-Louis,

Digitized by Google

En second lieu, on s'arrangera de façon à supprimer tout courant dans le fil qui tombe, en le mettant automatiquement hors circuit. Deux sortes de dispositifs ont été proposés dans ce but.

On a eu l'idée de couper le fil de contact en tronçons de 30 à 40 m. de longueur, dont les extrémités seraient saisies entre des pinces isolantes disposées de façon qu'en cas de rupture du fil le bout qui tombe soit privé de courant ; mais ce système présente des difficultés d'exécution qui l'ont jusqu'ici empêché de se répandre. On peut aussi diviser le fil de service en tronçons alimentés par l'intermédiaire d'un coupe-circuit fusible ou d'un disjoncteur automatique analogue à ceux des voitures et qui met le tronçon correspondant hors circuit lorsqu'il est parcouru par un courant exagéré ; la chute du fil, en l'amenant au contact du sol qui n'offre qu'une faible résistance entre ce fil et le circuit de retour formé par les rails, peut suffire à déterminer ce courant exagéré et à faire jouer le disjoncteur à la station. Mais la nécessité où l'on se trouve de donner aux fusibles ou disjoncteurs une marge de fonctionnement qui leur permette de supporter éventuellement le courant de plusieurs voitures, en cas d'encombrement, rend ce système de protection peu sensible ; en tout cas, il n'empêche pas le fil d'être dangereux au moment même de sa chute et de foudroyer les piétons ou les chevaux sur lesquels il tombe avant que le fusible ait sauté. L'obligation de laisser un libre passage sous le fil de trôlet pour la roulette ou l'archet de prise de courant ne permet pas, d'autre part, d'appliquer à ce fil, comme on peut le faire pour les feeders, le dispositif des boucles de sûreté entourant le fil près des isolateurs sans le toucher et reliées à la terre d'une façon permanente, lequel donne dans d'autres cas de bons résultats (voir par exemple plus loin leur emploi pour la protection des fils téléphoniques).

On est donc assez embarrassé jusqu'ici pour mettre hors circuit automatiquement les fils qui tombent et l'on doit, en attendant une

durant un orage en 1897, les fils abattus ont foudroyé tous les chevaux qui se trouvaient dans les rues. Il suffira dans les calculs d'estimer la pression maxima du vent à 250 kg. par mètre carré et d'admettre une variation de température de 15 à 20°. En hiver, une surcharge peut être produite également par la neige ou le verglas ; l'échauffement des câbles peut quelquefois faire fondre cette couche, mais on doit prévoir le cas où le fait a lieu la nuit ; les ruptures pour ce motif ne sont pas rares dans l'Amérique du Nord.

Digitized by Google

meilleure solution, recourir à des interrupteurs non automatiques permettant de rompre à la main la communication d'une partie de la ligne aérienne avec la distribution. Ces interrupteurs sont logés dans des boîtes placées sur les poteaux ou contre le mur des maisons et disposés de façon à pouvoir séparer à volonté la ligne en tronçons de 500 m. environ ; la figure 1 indique schématiquement la disposition d'une ligne à double voie ainsi alimentée par 4 feeders. Il faut en remettre des clefs non seulement aux agents de l'exploitation, mais à ceux des services municipaux qui peuvent être appelés à s'en servir éventuellement, c'est-à-dire aux agents

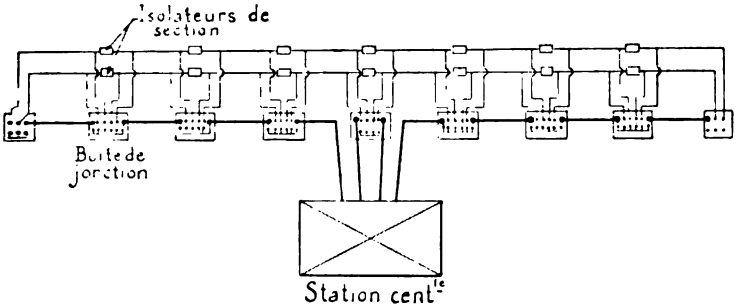



**Fig. 1.** — Disposition schématique d'une distribution par 4 feeders pour une ligne à double voie tronçonnée en sections de 500 m. environ.

de police et aux pompiers. Ces derniers ont en effet besoin, en cas d'incendie, de mettre hors circuit les parties situées devant les immeubles exposés au feu, sans quoi le jet d'eau de leurs lances, s'il venait à rencontrer un fil à 500 volts, pourrait jouer le rôle d'un conducteur suffisant pour leur donner de violentes secousses.

Des secousses peuvent également être ressenties dans d'autres cas, par exemple si l'on vient à toucher un poteau en bois, ou a fortiori métallique, de la ligne aérienne, lorsque l'isolement de celle-ci est insuffisant. Pour éviter ce dernier danger, il convient d'exiger toujours un double isolement, c'est-à-dire la fixation des fils de service à des isolateurs portés par d'autres fils, câbles ou bras isolés à leur tour des poteaux. C'est pour ce motif, par exemple, qu'on intercale des boules isolantes dans les fils transversaux qui supportent les isolateurs du fil de trôlet et que quelquefois même

Digitized by Google

on réalise un troisième isolement dans l'attache même de ces fils transversaux.

La véritable solution de la question de sécurité des voies publiques empruntées par des tramways à fils aériens serait peut-être celle qu'a récemment imaginée M. *Vedovelli* et qui consiste à subdiviser les lignes aériennes en tronçons très courts alimentés par des distributeurs automatiques analogues à ceux des distributions par contact superficiel ; chaque tronçon n'est électrisé que pendant qu'il alimente une voiture, les autres restant hors de circuit et par suite inoffensifs. L'avenir de ce système dépend seulement du bon fonctionnement des distributeurs, et tout porte à croire que ceux dont il s'agit sont très sûrs. Du jour où l'expérience aurait démontré que cette méthode est vraiment pratique, il serait logique d'en prescrire l'emploi.

2° *Tramways à distribution superficielle.* — Dans les tramways à distribution superficielle, système encore fort peu répandu, puisqu'il n'en existe qu'un ou deux exemples en fonctionnement pratique, le retour du courant se fait en général par les rails ; chaque voiture porte un frotteur inférieur qui vient recueillir le courant sur des *plots* métalliques recevant le courant d'une ligne de distribution souterraine au moyen de commutateurs compliqués et nombreux.

Si les commutateurs envoient bien le courant successivement aux divers plots et seulement pendant le temps où ils se trouvent sous la voiture, le public ne court aucun risque. Mais il suffit qu'un mauvais fonctionnement accidentel laisse un ou plusieurs plots en rapport avec le conducteur à haute tension après le passage du véhicule pour que les piétons et les chevaux risquent d'être foudroyés lorsqu'ils touchent ces plots. Il faut donc ajouter à l'arrière de chaque voiture un dispositif de sûreté qui ait pour effet, lorsqu'un distributeur automatique ne fonctionne pas régulièrement, de mettre les plots à la terre avant de les quitter et de faire sauter les plombs du distributeur. Un des dispositifs les plus simples employés dans ce but, celui de la ligne de Paris-Romainville, est représenté schématiquement par la figure 2. Un électro-aimant E, placé en dérivation sur les moteurs, attire son armature et rompt le contact C tant que le moteur est excité. Aussitôt que, par

Digitized by Google

suite d'un arrêt du distributeur $p_{11}$, le courant n'arrive pas au plot $y$, la palette retombe et met le petit frotteur de sûreté $f$, qui suit le frotteur principal F, en communication par les roues avec les rails de retour. Lorsque ce frotteur vient passer sur le plot $y_{10}$ que quitte la voiture et qui est resté en communication avec le distributeur, celui-ci se trouve mis en court-circuit avec les rails et soumis par suite à un fort excès de courant qui fait sauter le plomb fusible destiné à protéger l'appareil. Ce dernier est ainsi mis hors circuit

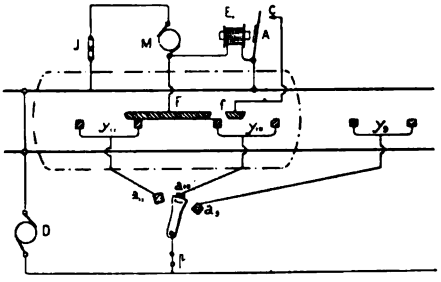



Fig. 2. — Dispositif de sûreté des voitures de Paris-Romainville, système Claret-Vuilleumier.

jusqu'à ce qu'on l'ait visité, remis en bon ordre et qu'on ait remplacé le plomb.

Il existe des dispositifs plus perfectionnés du même genre, dus à M. Vedovelli, etc.

En ce qui concerne les pertes d'énergie par les dérivations, elles sont toujours faibles dans les lignes à contact superficiel, car la perte ne se fait jamais que par les plots électrisés, dont le nombre est égal à celui des voitures.

On ne doit donc pas se montrer trop exigeant pour l'isolement des plots; il est bon seulement que le courant de perte de chacun d'eux ne dépasse pas en moyenne 0,5 ampère, chiffre qui, d'après l'expérience de la ligne de Paris-Romainville, est assez facile à maintenir.

M. Vedovelli a imaginé aussi un perfectionnement intéressant à ce point de vue. Il a remarqué que, pendant qu'un plot est électrisé, les dérivations de courant qui s'établissent entre ce plot et les voisins peuvent suffire à mettre en action leurs commutateurs et par suite à rendre ces plots actifs, ce qui est fort dan-

Digitized by Google

gereux. Pour parer à cet inconvénient, il a imaginé d'entourer les plots, sur leurs faces latérales et leur base inférieure, d'une enveloppe métallique qui en est séparée par un enduit isolant et est reliée à la terre d'une façon permanente. Cette enveloppe arrête les fuites de courant en abaissant le potentiel tout autour du plot au potentiel même de la terre.

Les systèmes à contact superficiel sans mécanisme, tels que le système Diatto, ne présentent pas les mêmes inconvénients; mais ils pourraient donner lieu à un autre danger très grave, si un affaissement des plots déterminait un contact *permanent* avec l'appareil de contact se trouvant au-dessous. On devra donc s'assurer que cet accident n'est absolument pas à craindre.

3° *Tramways à canalisation souterraine.* — Par suite même de leur mode de construction, qui met à la terre les rails et les caniveaux et rend impossible tout accès du public aux conducteurs de service, les systèmes à canalisation souterraine offrent une sécurité absolue. Tant que l'isolement est bon entre ces conducteurs et les caniveaux qui les contiennent, il n'y a pas de fuites bien sensibles entre conducteurs. Lorsque l'isolement est mauvais, toutes les pertes se produisent à l'intérieur des caniveaux et sans modifier sensiblement le voltage de ceux-ci, qui reste égal à celui de la terre. Pour éviter des fuites trop fortes, qui pourraient donner lieu à des échauffements dangereux, on divise encore ordinairement les lignes en tronçons protégés par des fusibles ou des disjoncteurs.

Les règles à prescrire pour la bonne construction du caniveau doivent mentionner particulièrement sa facile accessibilité, le bon écoulement des eaux, la continuité électrique et l'isolement de la masse métallique par rapport aux conduites souterraines voisines. On pourra prendre utilement comme modèle à ce point de vue les prescriptions très complètes de l'article 18 du règlement du Board of Trade reproduit plus loin aux annexes (p. 784).

4° *Chemins de fer électriques sur plate-forme séparée.* — Dans le cas où les chemins de fer sur plate-forme séparée sont exploités au moyen du trôlet, les dangers sont les mêmes que pour les tramways, mais bien plus limités, car ils sont localisés aux stations et aux passages à niveau, où le public a accès sur la plate-forme.

Digitized by Google

La distribution par un troisième rail isolé sur blocs de bois ou de porcelaine portés par des traverses, qui tend à devenir la seule solution pratique pour les chemins de fer électriques, parce qu'elle permet l'emploi de forts courants et de grandes vitesses peu compatibles avec l'usage du trôlet, donne lieu à plus de dangers, par suite de l'accessibilité plus grande du conducteur à haut potentiel. En pleine voie, lorsque la plate-forme est protégée par des clôtures, les agents du chemin de fer sont seuls exposés, et en leur prescrivant de ne pas passer sur le rail dangereux, on peut à la rigueur se dispenser de masquer celui-ci. Cependant, il faut prévoir que dans l'obscurité un agent peut se tromper ou ne pas faire attention au troisième rail ; il est donc prudent d'empêcher effectivement le contact avec ce conducteur en l'enfermant soit entre deux cours de madriers placés de champ et dépassant sa surface supérieure (fig. 3), seule disposition possible en particulier lorsque le troisième rail est placé au milieu de la voie, soit en le recouvrant d'un madrier à plat soutenu par un autre de champ qui laisse accès par le côté opposé au sabot de prise de courant. On a même proposé de suspendre le rail à des consoles supérieures en prenant le courant par-dessous; mais cela paraît bien compliqué.

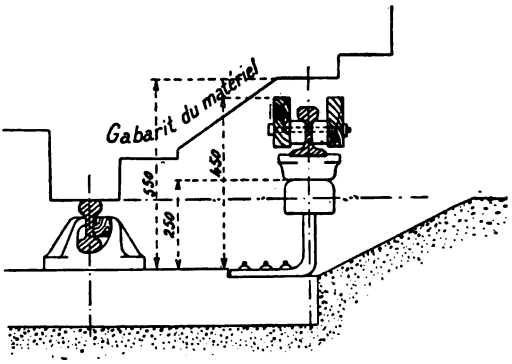


Fig. 3. — Disposition du troisième rail sur le côté de la voie avec madriers de protection latéraux.

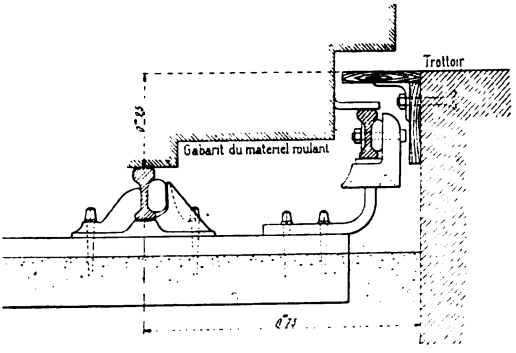
Aux passages à niveau, on peut soit remplacer un tronçon du troisième rail par un conducteur souterrain, soit disposer un appareil automatique qui le mette hors de circuit par la manœuvre même des barrières.

Dans les stations, il est facile, en plaçant le troisième rail le long et sous le rebord des trottoirs, suivant une disposition projetée par M. *Sabouret* (fig. 4), d'obtenir une excellente protection, qui est absolument indispensable en France par suite de l'accès du public sur les voies. Mais ce procédé, suffisant pour des sta-

Digitized by Google

ropolitain, se prête mal aux croisements de voies, ›lus souvent nécessaire d'adopter en conséquence le s l'étendue des stations ordinaires de voyageurs et de , en munissant à titre accessoire les locomoteurs courant aériennes ; les manœuvres de gare ayant à petite vitesse, un fil ou un rail aérien n'y présente ›s inconvénients qu'en pleine voie.

l que soit le système de distribution et de traction




4. — Protection du rail de contact dans les stations.

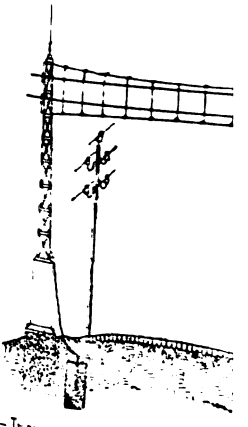
les feeders devront être inaccessibles et isolés avec ı que des câbles de lumière à la même tension. du 15 septembre 1893 leur est intégralement appli-

contact des fils distributeurs avec des fils étran-
ontact des fils distributeurs avec d'autres fils élec-
tension plus élevée que celle admise pour le réseau
t dangereux pour les voyageurs, parce qu'il peut
des secousses mortelles ou déterminer l'incendie

accidentel avec des fils à tension plus faible, tels
istributions de lumière ou des réseaux télégraphiques
ıes, les met au potentiel de 5 ou 600 volts et rend
ıgereux aussi bien pour les employés de ces derniers
ıels ce potentiel élevé peut occasionner des secousses
›s quand ils touchent leurs appareils, que pour les
bles eux-mêmes, dont l'isolement peut être détruit



cette tension imprévı
brûlées dans ces co
éclairage ou de télé
excessif qui
France, dans les lieu
être soit souterrain
soient inoffensifs



— Traversée par une ligne à hau
télégrap

pour les lignes de tramwa
S'il s'agit d'un sin
avec une ligne à haute tens
suivre, on disposera sous la
mis à la terre ou on l'enf
dans une poutre à treillis
elle sera fixée par des isolate
à la terre par des plaques app

un tramway se présente ainsi s
ceux qui l'approchent,
voisins pour les mettre à mal, si
graphistes de tous les pays, qu
troubler les communications,
exploitants des tramways
mais nous croyons aussi
de se proteger plus complètem

du 15 septembre 1893 exige qu'ils
autorise aussi souvent l'emploi
que pour les cas de rupture.

Digitized by Google

par cette tension imprévue ; les lampes d'un réseau de lumière seront brûlées dans ces conditions, et un défaut d'isolement d'un câble d'éclairage ou de téléphonie y déterminera sous 500 volts un échauffement excessif qui pourra occasionner un incendie [1].

En France, dans les lieux habités, les réseaux à haute tension devront être soit souterrains, soit disposés de façon que leurs fils en tombant soient inoffensifs [2]. Le danger ne se présente donc en

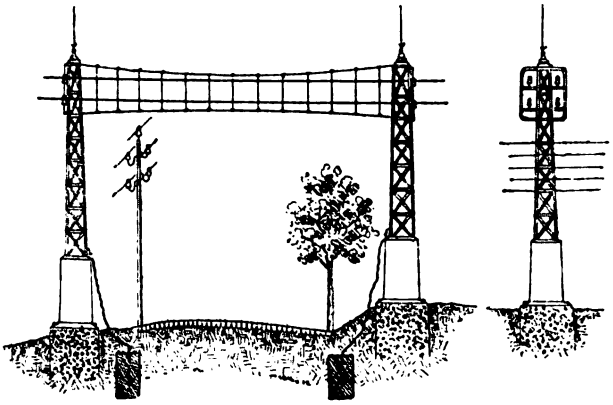


Fig. 5. — Traversée par une ligne à haute tension d'une route et de conducteurs télégraphiques.

général pour les lignes de tramways que sur les routes, hors des lieux habités. S'il s'agit d'un simple croisement de la ligne de tramway avec une ligne à haute tension traversant la voie publique sans la suivre, on disposera sous la ligne à haute tension un filet protecteur mis à la terre ou on l'enfermera dans un treillis de fils ou même dans une poutre à treillis en fers plats et cornières à laquelle elle sera fixée par des isolateurs et qui formera un véritable pont, mis à la terre par des plaques appropriées. Ce dernier dispositif

[1] Le courant d'un tramway se présente ainsi sous l'aspect d'un malfaiteur, qui non seulement peut frapper ceux qui l'approchent, mais encore se glisse sournoisement chez de paisibles voisins pour les mettre à mal, si l'on n'y prend garde. Aussi est-il la bête noire des télégraphistes de tous les pays, qui lui reprochent d'autre part d'accaparer la terre et de troubler les communications, comme on le verra plus loin. L'intérêt bien entendu des exploitants des tramways est d'éviter tout accident de nature à justifier cette antipathie ; mais nous croyons aussi que c'est le devoir des administrations téléphoniques de se protéger plus complètement qu'elles ne le font dans certains pays.

[2] Le règlement du 15 septembre 1893 exige qu'ils soient recouverts d'une enveloppe isolante ; en fait, on autorise aussi souvent l'emploi de fils nus avec boucles de mise à la terre automatique pour les cas de rupture.

Digitized by Google

ır, parce que, si les fils viennent à se rompre, ils peuvent . au lieu de tomber directement, s'enrouler autour des u-dessous ; la même disposition est d'ailleurs employée s traversées de voies ferrées ou de lignes télégraphiques par des conducteurs à haute tension (fig. 5). Il paraît plus simple de faire passer ceux-ci dans des caniveaux au-dessous de la voie ; mais il faut alors employer au lieu de câbles nus des câbles isolés, et ces derniers ne peuvent supporter des tensions aussi élevées que les câbles aériens (5 000 volts est ordinairement un maxi-

aguettes
ois pour
des fils

ɜ disposition peut, par contre, être appliquée aux lignes sion traversant un chemin de fer électrique.

r de contact des lignes de traction avec les lignes à ɔn se présente très fréquemment ; il est surtout impor- ɜs villes où les réseaux téléphoniques sont aériens et tites localités où existent des distributions d'éclairage. étrangers étant toujours placés au-dessus du fil du

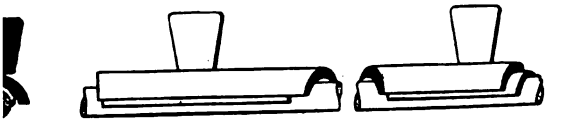


Fig. 7. — Demi-cylindres isolants en caoutchouc.

ɔur laisser passage à la prise de courant, on a pensé à dernier par des baguettes en bois léger imprégné portées par des tenons soudés au fil (fig. 6) ; ces tant nécessairement interrompues au droit des isola- ɜs termine par des crochets destinés à empêcher le fil ıisser plus loin et on les réunit par de petits ponts en ques.

baguettes sont lourdes, insuffisamment isolantes, elles au bout de quelque temps, et d'ailleurs n'empêchent rompus, qui ont une tendance à s'enrouler en spirale, ıcher le fil de trôlet par-dessous. Il en est de même des ɔppes en caoutchouc (fig. 7), qu'on a également essayées. essaire que les organes protecteurs ne jouent pas seule-

Digitized by Google

ment le rôle d'obstacles *mécaniques*, mais servent en même temps à mettre les fils qui les touchent au potentiel de la terre. On peut

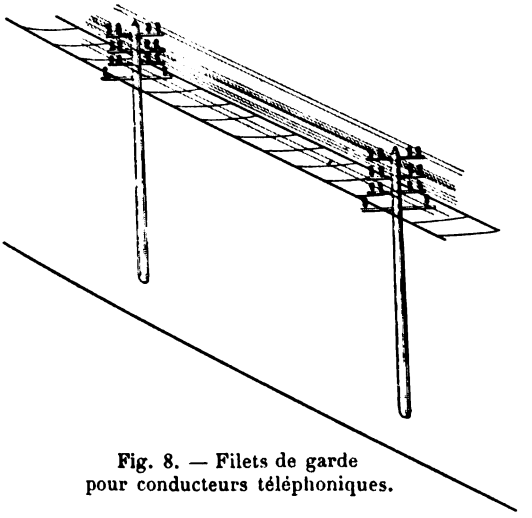


Fig. 8. — Filets de garde pour conducteurs téléphoniques.

adopter dans ce but des obstacles métalliques reliés à la terre et qui peuvent consister soit en *fils de garde* tendus au-dessus du fil de trôlet et parallèlement à lui, au nombre de 2 pour un fil simple ou 3 pour un double fil, soit en *filets de garde* (fig. 8) placés au-

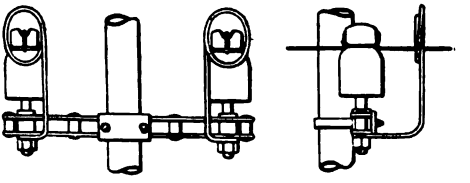


Fig. 9. — Boucles de garde.

dessous des câbles à basse tension et occupant une largeur double[1], soit mieux encore en *boucles* ou *rampes de garde* métalliques (fig. 9 et 10) entourant chacun des conducteurs à basse tension ou leur ensemble sans les toucher, au voisinage immédiat des isolateurs ; en cas de rupture et de chute d'un de ces conducteurs, celui-ci, venant forcément au contact de la boucle ou de la

[1] A défaut d'une poutrelle ou d'une cage en treillis comme celle de la figure 5, qui serait trop disgracieuse, l'emploi de larges filets est reconnu nécessaire. En Suisse, on les fait en fils de fer de 2 mm. qui malheureusement se corrodent vite ; il vaudrait mieux employer des fils bimétalliques.



Digitized by Google

rampe de garde, se trouve mis à la terre d'une façon assurée, et la ligne aérienne est aussitôt soumise à un courant exagéré qui fait jouer les disjoncteurs de l'usine ; comme terre, on prendra de préférence les rails eux-mêmes.

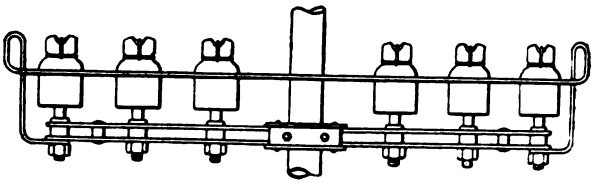


Fig. 10. — Rampe de garde.

Ces systèmes de filets, boucles ou fils protecteurs assurent en général assez bien la protection des appareils à basse tension, mais non la sécurité des personnes, car le fil tombé sur la ligne de tramway, faisant court-circuit entre la boucle et ce dernier, peut être fondu sans qu'un bout cesse de rester accroché à la ligne de

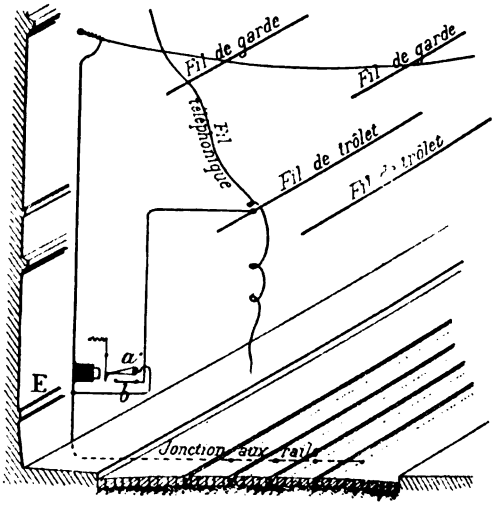



Fig. 11. — Schéma d'un système de protection par mise à la terre automatique du fil de trôlet.

trôlet ; si le mécanicien de la station remet du courant dans la ligne, ce fil qui pend à terre est aussi dangereux que la ligne elle-même. Il est donc bon de les perfectionner, comme l'a indiqué *Ulbricht*, en reliant les fils, filets ou boucles de garde à la terre, non directement, mais par l'intermédiaire d'un relai d'assez grande résistance E (fig. 11), qui ne permet pas au courant de

Digitized by Google

perte de fondre le fil et ferme automatiquement un interrupteur *ab* mettant la ligne de trôlet à la terre ; de cette façon, le disjoncteur automatique de celle-ci se trouve actionné à son tour et met cette ligne hors circuit jusqu'à ce qu'on soit venu réparer l'avarie et rétablir le relai en état de fonctionnement. Ce système a donné, dit-on, de bons résultats à Zwickau et à Dresde avec des filets.

On a proposé aussi de recouvrir les fils à basse tension d'un isolant à la traversée du fil de trôlet ou de les couper en tronçons retenus par des pinces spéciales qui se détachent d'elles-mêmes lorsque le tronçon se rompt. Mais le premier de ces systèmes est inefficace, parce que les isolants exposés à l'air et aux intempéries sont rapidement altérés ou fendillés ; le second est délicat et ne paraît pas avoir eu encore d'applications pratiques.

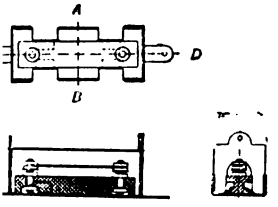
Au fond, la seule disposition rationnelle dans les grandes villes, c'est que les fils téléphoniques soient souterrains, ce qui évite tout danger sans grande dépense, et il n'y a aucun motif pour autoriser ces fils à être aériens plutôt que les feeders des tramways.

**Dangers d'échauffement par court-circuit sur le réseau.** — Un court-circuit sur le réseau peut fondre les fils, enflammer les enveloppes de feeders souterrains, mettre le feu à l'usine, etc. On doit parer à ces dangers en munissant chaque section de la ligne aérienne de coupe-circuits et en ajoutant à chaque feeder au départ de l'usine un disjoncteur automatique, plus facile à régler qu'un fusible. Ces divers appareils, comme ceux qu'on place sur les voitures pour éviter d'y mettre le feu en cas de surcharge des moteurs ou de court-circuit dans l'équipement, doivent être construits de façon à empêcher la formation d'arcs persistants sous le voltage de 5 à 600 volts.

**Dangers d'échauffement dans les installations à basse tension par contact avec les fils de trôlet.** — Pour les réseaux télégraphiques et téléphoniques, il ne suffit pas d'assurer au bout d'un court instant, par les dispositifs indiqués plus haut, la rupture du courant résultant d'un contact avec le réseau de traction ; il faut que la protection soit immédiate, si l'on ne veut exposer les appareils à des détériorations et même à la combustion : c'est ainsi par exemple que, le 4 avril 1898, la station centrale téléphonique de Zürich a

Digitized by Google

ıtièrement brûlée à la suite d'une abondante chute de neige vait amené la rupture des fils téléphoniques. On obtient une ction supplémentaire à l'aide de coupe-circuits fusibles dis-, par exemple, comme l'indique la figure 12, sur chaque fil. ès M. *Strecker*[1] et M. *Wietlisbach*[2], ces fusibles peuvent être is de façon à fondre sous un courant de 0,8 à 1 amp. Mais ce courant, admissible pour un parafoudre, est encore exagéré pour un appareil destiné à assurer une protection contre des courants industriels, car les annonciateurs ne supportent ordinairement au maximum que 0,1 à 0,2 amp. ; on peut construire des fusibles plus sensibles, en platine irridié (Postel-Vinay) ou à alliage e (Sneak), pour des courants beaucoup moindres[3] ; mais ils lors l'inconvénient de fondre sous l'influence de la moindre rge atmosphérique et d'occasionner ainsi des interruptions entes du service ; il faudra donc les doubler de parafoudres ensibles.




2. — Coupe-circuit téléphoı de l'administration allele pour fil isolé.

ır éviter la formation d'arcs persistants après la fusion de ɔupe-circuits, ce qui serait plus dangereux que le courant lui-, étant donné la haute tension des réseaux de traction, on les d'un fil mince tendu sur un bloc de porcelaine ou dans du ou bien placé dans un petit tube de verre enfermé lui-même un tube en fibre ; au moment de la fusion du fil, le tube de éclate dans le tube en fibre et l'explosion éteint l'arc. Si la ɔn des conducteurs de traction dépassait 600 volts, ce qui ait avoir lieu hors des villes ou pour des chemins de fer sur forme séparée, il serait bon d'enfermer tous les fusibles une caisse spéciale incombustible.

**ngers des décharges atmosphériques.** — Par le fait même présentent de longues lignes aériennes, les réseaux de tram-

*ektrotechnische Zeitschrift*, 2 juillet 1896.
*ıgrès international des Électriciens*, Genève, août 1896.
emploie des fusibles de 0,20 amp. à Marseille et de 0,04 amp. à Bordeaux.



ıys à trolet, surtout s'i
ɔsés aux décharges a
ɔ à très haut potentiel
ɔel vers le sol, elle se
ɔt sauter les isolateu
elle endommagerait, d
ɔnin pénétrerait dans

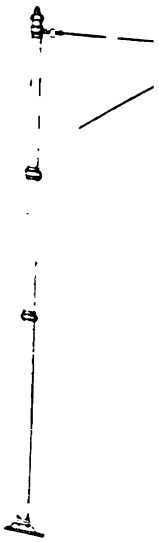


Fig. 13. — Montage d'u

ıs importants aux appar
ɔlant et même en y me
ıs dangers doivent être é
ɔupapes de sûreté desti
ɔharge à haute tension
ɔl du courant normal d'al
ɔ sur les poteaux entre un
ɔ le montre la figure 1
ɔtection pour les motifs i
ɔer de loin en loin sur les p
ɔ à jouer le rôle de prot
ɔge de la ligne elle-même

Digitized by Google

ways à trôlet, surtout s'ils sortent des villes, sont particulièrement exposés aux décharges atmosphériques, qui sont formées d'électricité à très haut potentiel. Si l'on n'offrait pas à celle-ci un passage direct vers le sol, elle se répandrait dans tout ou partie du réseau, ferait sauter les isolateurs du fil aérien pour gagner les poteaux qu'elle endommagerait, détériorerait les voitures et les moteurs, et enfin pénétrerait dans l'usine génératrice où elle causerait des

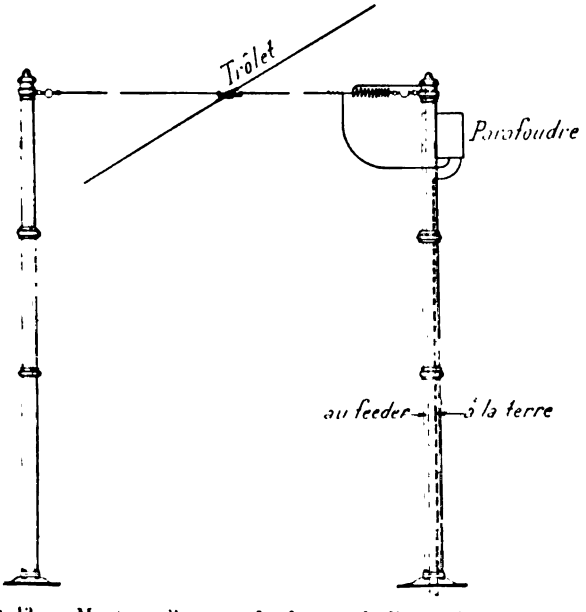



Fig. 13. — Montage d'un parafoudre sur la ligne aérienne.

dégâts importants aux appareils et aux machines en détruisant leur isolant et même en y mettant le feu.

Ces dangers doivent être évités à l'aide de parafoudres, véritables soupapes de sûreté destinées à livrer passage vers la terre à la décharge à haute tension tout en s'opposant à l'écoulement au sol du courant normal d'alimentation. On les place généralement sur les poteaux entre un feeder de section et le fil de service, comme le montre la figure 13, et on ajoute sur le feeder une self-induction pour les motifs indiqués plus bas. En outre, on peut placer de loin en loin sur les poteaux de petits paratonnerres destinés à jouer le rôle de protecteurs indirects en détournant la décharge de la ligne elle-même.

Digitized by Google

. peut considérer une ligne comme très bien protégée lors-
le est munie de bons parafoudres tous les 500 ou 1 000 m.
les parties en rase campagne et tous les 1 500 à 2 000 m.
les lieux habités, et en outre d'un parafoudre à l'entrée de la
n. Ce dernier doit être placé de préférence au dehors de
e et non sur le tableau de distribution où il pourrait être une
de danger; il est bon d'intercaler entre cet appareil et les
ines une bobine de self-induction formée d'une vingtaine de
s enroulées sur un noyau de bois [1], qui aura pour effet d'em-
r le passage de la décharge vers les génératrices; un con-
teur est inutile.

aque parafoudre doit aboutir à une plaque de terre présentant
résistance de passage aussi réduite que possible, inférieure
xemple à 5 ohms. Ces prises de terre peuvent être faites
e celles des paratonnerres, mais il est plus simple de prendre
e elle-même comme plaque de terre, si l'on n'a pas à craindre
e soit trop isolée du sol, ce qui est le cas ordinaire.

précautions ne dispensent pas, bien entendu, de placer sur
itures des parafoudres et des self-inductions destinés à les
ger isolément, suivant les indications données au chapitre X
p. 216).

cette façon, les décharges atmosphériques, qui se produisent
façon assez capricieuse, trouvent toujours des issues rappro-
et nombreuses qui les rendent inoffensives.

ant aux parafoudres eux-mêmes, ils doivent être d'un type
prié et moderne, disposé de façon à éviter toute formation
permanents par où s'écoulerait le courant ordinaire de la
Nous en avons cité quelques exemples au chapitre X (p. 214).
ivent pouvoir supporter plusieurs décharges successives sans
mis hors de service. Cette dernière condition est surtout
tante dans les pays de montagne : en Amérique, par exemple,
les Montagnes Rocheuses et en Californie, on voit quelque-
n même parafoudre écouler jusqu'à 20 décharges dans l'es-
d'une minute; il ne faut donc pas qu'après la première il
soin d'une visite pour être remis en état de fonctionnement.

xpérience montre que les noyaux de fer ne sont pas efficaces aux hautes ten-



1 – DANGERS DU RETOU

Généralités. — Le sys
on le sait, celui p
par les rails. Cet emp
d'économie, une b
dix fois plus condu

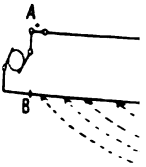



Fig. 1

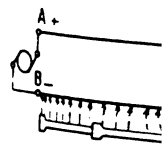



Fig. 15. —

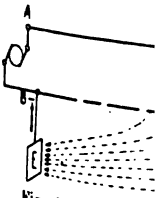



Fig. 16. — Terre

Fig. 14, 15 et 16. — Diver

xplification qui en résulte po
ons du réseau aérien. Mais
dangereux d'isoler les rails d
circuit conducteur qui ser
ntact sur toute son étendue a
, dans laquelle s'établisse
dérivations, presque négligea
que dans la terre seule (fig.
coup plus grande lorsqu'elles
parcours un chemin bon cond

Digitized by Google

### III. — Dangers du retour par les rails; phénomènes d'électrolyse

**Généralités.** — Le système de distribution le plus répandu est, comme on le sait, celui par fil aérien unique avec retour du courant par les rails. Cet emploi des rails est motivé par des considérations d'économie, une bonne voie de tramway étant en général près de dix fois plus conductrice que les fils de distribution, et par

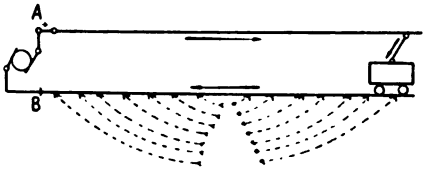



Fig. 14. — Terre seule.

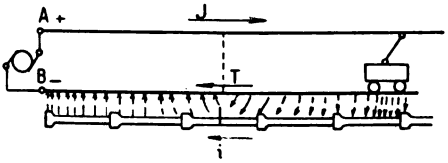



Fig. 15. — Terre et conduite.

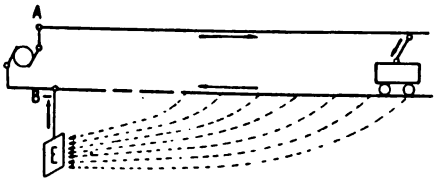



Fig. 16. — Terre et plaque de terre.

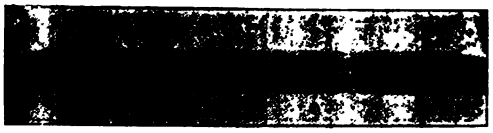
Fig. 14, 15 et 16. — Divers cas de retour par la terre.

la simplification qui en résulte pour la prise de courant et les dispositions du réseau aérien. Mais comme il est impossible et d'ailleurs dangereux d'isoler les rails du sol, ainsi qu'on le verra ci-dessous, le circuit conducteur qui sert au retour du courant se trouve en contact sur toute son étendue avec un corps un peu conducteur, la terre, dans laquelle s'établissent des dérivations de courant. Ces dérivations, presque négligeables tant qu'elles ne trouvent passage que dans la terre seule (fig. 14), prennent une importance beaucoup plus grande lorsqu'elles rencontrent sur une partie de leur parcours un chemin bon conducteur, tel que des conduites

Digitized by Google

ı de gaz (fig. 15), des câbles à armature métallique, etc. leurs premières installations de tramways électriques, les ırs américains, croyant à tort la terre très conductrice et ant le transport de l'énergie avec la télégraphie, négli- de réunir les rails des voies électriquement et se conten- e relier au pôle négatif des machines génératrices de plaques de terre enfouies près de la station (fig 16). Ils ɔsaient souvent aussi d'autres le long des voies, en les ux rails.

leur idée, le courant de retour, même en cas de rails inter- devait revenir par la terre à ces plaques. Mais, en fait,



ıg. 17. — Perforation d'une conduite en plomb par électrolyse.

st fort peu conductrice [1], et le courant se frayait un chemin ails mal assemblés et les conduites voisines à joints peu urs, au prix de chutes de potentiel énormes, souvent dan- et entraînant de grandes pertes [2].

es conditions, le retour donnait lieu à deux sortes d'acci- ı premier lieu, il déterminait des différences de potentiel ses entre des conduites différentes passant sous la voie. si que des incendies ont été allumés dans des caves par ɔenant à jaillir au contact d'une canalisation d'eau et d'une de gaz [3]. En second lieu, on s'aperçut dès 1892 que ces souvent considérables (25 à 40 p. 100 du courant de lérivés le long des conduites, y occasionnaient de rapides

ɔ n'est un peu conductrice que grâce aux sels qu'elle contient et encore le soit mouillée ou franchement humide ; la terre bien sèche est un isolant omplet.

ıt dépassé 200 volts dans certaines installations où les joints étaient si que la différence de potentiel entre le sol et les rails occasionnait des x piétons.

ils accidents n'étaient possibles qu'avec les déplorables conditions de ent qui caractérisaient les premières installations américaines et rien de est à craindre aujourd'hui avec les voies bien jointées que l'on emploie

perforations ou des dégâts très importants par corrosion électrolytique. La figure 17 donne un exemple de perforation de ce genre. L'*électrolyse* devint alors un épouvantail pour les propriétaires de conduites ou de câbles placés au voisinage de tramways électriques, et l'effroi qu'ils en ont conçu s'est communiqué aux ingénieurs européens. Il est juste de ramener les faits à leur juste proportion : avec les procédés actuels, qui n'ont plus rien de commun avec les errements que nous venons de rappeler, l'électrolyse est, comme beaucoup d'autres maux d'abord mal analysés, un danger dont on peut, par une construction rationnelle, rendre les effets bénins et presque négligeables.

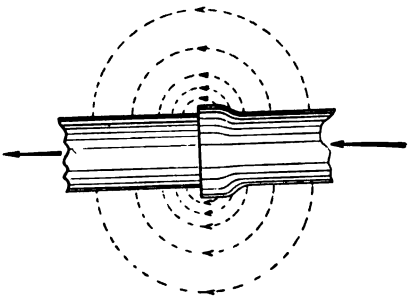


Fig. 18. — Dérivations de courant autour d'un joint de conduite.

**Circonstances dans lesquelles se produit l'électrolyse.** — Aux points où des courants dérivés[1] (supposés allant du pôle + au pôle —) pénètrent dans une masse métallique située sous les rails, aucune attaque n'est à craindre ; celle-ci se produit seulement dans les régions où les courants quittent la masse pour revenir à la terre.

Si l'on considère par exemple (fig. 15) une conduite d'eau parallèle à la voie de tramway jusqu'au droit de l'usine génératrice, on voit par cette règle qu'il n'y a pas d'attaque de la conduite à craindre à droite, mais qu'il pourra s'en produire à gauche. En outre, au passage de chaque joint (fig. 18), toujours plus ou moins isolant[2], une partie du courant contourne ce joint, soit à l'extérieur par la terre plus conductrice, soit à l'intérieur par l'eau, et peut ainsi produire une attaque du bord qu'il quitte, comme le montre la figure 19.

[1] En Allemagne, ces courants portent le nom pittoresque de courants « vagabondants ».

[2] Dans des mesures faites par M. Rowland sur une conduite à joints garnis de plomb ayant une résistance de 0,0008 ohm environ par mètre courant, la résistance des différents joints variait de 0,015 à 1,70 ohm. On voit que c'est cette dernière qui détermine presque seule la résistance totale de la conduite. Les joints vissés ou boulonnés présentent une résistance bien plus faible, équivalente seulement à environ 1 m. de conduite.

Digitized by Google

e est due à l'électrolyse des sels (chlorures, sulfates, etc.) contenus dans le sol et qui se décomposent sous du courant[1].

électropositif du sol (métal, hydrogène ou base non dangereuse) ant, l'élément électronégatif (oxygène, chlore, acide, etc.) se contraire sur la surface métallique (fer, fonte, plomb, cuivre) que rant et l'attaquant en formant un oxyde ou un sel.

en un temps donné est proportionnelle à la quantité d'électricité et non à la différence de potentiel : un courant de 1 ampère pen- s produit le même dégât que 30 ampères pendant un jour. La métal attaquée dépend, en outre, de la nature de ce métal : un sant pendant une heure dissout par exemple 0,697 gr. de fer en sesquioxyde ou sel de sesquioxyde, 3,858 gr. de plomb trans- de protoxyde, 2,355 gr. de cuivre transformé en sel de protoxyde. 5 000 heures de fonctionnement par an, on voit qu'une fuite de un point d'une conduite peut détruire en un an au moins 5 kg. . de plomb et 11 kg. de cuivre. Si l'attaque était uniforme, on près la valeur du courant de perte et l'aire de la surface de sortie, aisseur rongée en un an ; mais l'expérience apprend que l'attaque

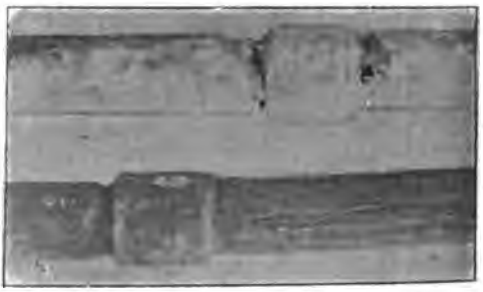


Fig. 19. — Joints attaqués par électrolyse.

ment par petits points distribués irrégulièrement comme des ite vérole ; la perforation a donc lieu beaucoup plus tôt que ne le calcul.

**tion du danger d'électrolyse.** — D'après ce qui précède, les seules parties d'une conduite qui soient en danger nts où passe le courant maximum et les surfaces qui otentiel plus élevé que les rails situés à proximité (c'est pelle « être positives par rapport aux rails »). On peut

garder d'assimiler ce phénomène à la décomposition de l'eau acidulée ètre à électrodes de platine ; la question est absolument différente et as ici de tension limite de décomposition comme dans le voltamètre.

Digitized by Google

donc dans une ville tracer des cartes intéressantes indiquant les régions dangereuses et non dangereuses; c'est ce qu'ont fait beaucoup d'ingénieurs américains, à commencer par M. Farnham en 1891[1]. Mais il faut se garder d'attribuer à ces cartes une valeur absolue, car souvent la répartition des potentiels subit des changements et en tout cas la terre est fréquemment si mauvaise conductrice que deux conduites voisines peuvent se trouver à des potentiels différents; nous avons dit plus haut qu'on a vu assez souvent en Amérique des incendies allumés par des arcs jaillissant entre une conduite d'eau et une conduite de gaz voisines d'un réseau de tramways.

Il est plus difficile d'apprécier *quantitativement* le danger, faute de données d'expérience suffisantes à cet égard. Si l'on connaissait le courant total qui parcourt une conduite, on pourrait avoir une idée du risque d'attaque des joints, mais non de celui d'attaque à la sortie, car tout dépend de l'aire par laquelle se fait cette sortie. D'autre part, il est assez difficile de mesurer pratiquement ce courant, bien qu'on puisse y arriver, comme on le verra au paragraphe 3, en intercalant dans la conduite un joint franchement isolant et en reliant les deux tuyaux contigus à ce joint par une ligne de connexion brasée ou bien jointée contenant un ampèremètre.

On a cru trouver un procédé d'appréciation plus commode en mesurant la différence de potentiel entre les conduites là où elles sont positives par rapport aux rails voisins. Mais cette mesure, pour être valable, exige des précautions spéciales que nous décrirons à propos des méthodes de contrôle. Même bien faite, elle n'a d'ailleurs que peu de signification, car rien ne permet d'en déduire sûrement une appréciation du courant de perte allant des conduites aux rails, la valeur de ce courant dépendant essentiellement de la conductibilité du sol. Là où le sol est sec, une différence de potentiel de 20 volts peut ne produire aucune électrolyse sensible, tandis qu'à peu de distance du même point, avec un sol très humide, une différence de potentiel de 4 volts donnera lieu à une corrosion notable. Les sels alcalins, les fuites de gaz

[1] Cf. *Trans. Am. Inst. El. Eng.*, 18-25 avril 1894.

Digitized by Google

ntent la conductibilité et l'attaque. Ces différences de con-
ilité de la terre peuvent produire le long d'une même con-
les phénomènes curieux de sortie et de rentrée alternative
urants dérivés.

mesure du courant de fuite qui passe entre la masse métal-
et les rails ou la dynamo, supposés reliés par un ampère-
, ne donne pas d'indications meilleures, car la liaison métal-
ainsi effectuée peut suffire à troubler complètement la valeur
érivations et à leur donner une importance apparente bien
ieure à la réalité. Il en est de même des plaques de terre
certains auteurs et même le règlement anglais que nous
plus loin (p. 781) recommandent d'établir à la station
atrice avec un ampèremètre en série pour mesurer le courant
entre par cette voie à la station. On peut ne constater aucun
r du courant par la plaque de terre, tout en trouvant à
ques centaines de mètres de là de graves attaques de con-
s.

vérité, il faut bien l'avouer, c'est qu'on n'a jusqu'ici aucun
critérium de la valeur du danger. Tout ce qu'on peut faire,
de réunir pour l'avenir des documents expérimentaux et, en
dant, de vérifier de temps en temps, en mettant les conduites
, si elles présentent ou non des traces d'attaque. Ces visites
t d'ailleurs d'intérêt qu'aux points où l'attaque doit être
ima, c'est-à-dire dans la région de sortie des courants et au
u de la longueur des conduites suivant une ligne de retour,
'est là que le courant dans la masse métallique et par suite
que aux joints atteignent leur maximum. Pour faciliter l'ins-
ion des surfaces de sortie des courants dérivés et la localiser,
t avoir soin, comme l'a indiqué M. *Pearson* en 1892, de mettre
ours le pôle négatif des dynamos en relation avec les rails et
ôle positif avec la ligne aérienne; de cette façon, la zone
gereuse, où les conduites sont positives par rapport aux rails,
rouve autour de l'usine et n'occupe qu'un territoire restreint.
e n'est que dans des cas exceptionnels qu'on peut être amené
érer autrement, par exemple sur les lignes suburbaines où il
a pas de conduites souterraines et où la grande vitesse du trô-
occasionnerait des arcs destructifs pour le fil.



**Moyens à employer pour éviter**
...se du pôle négatif à la terre
...se, mais ne réduit pas le dan
...foule d'artifices dont la plupar

...premier qui vienne à l'esprit, c'est
...cher de ce desideratum en plaçant
...pierres cassées parfaitement drain

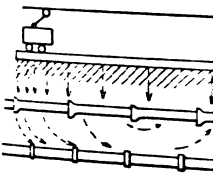


Fig. 20. — Système de liaison d

...il y a lieu, en noyant les rails su
...Mais une semblable dispositio
...aux rails une bonne continuit
...; enfin elle peut donner lieu à
...y a des joints défectueux, car, s'i
...une voiture, une partie des rails
...élevé de la ligne aérienne et d

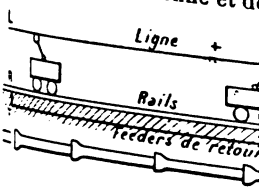



Fig. 21. — Système de la figure

...les immeubles. Pour ces motif
...dehors de cas exceptionnels.
...le plus séduisant en apparen
...conduites ou masses menacées
...les réunissant soit aux rails, soit a
...système Farnham); en inte
...sous-voiteur) dans le circuit d
...rien n'est plus facile que
...aux rails sur toute leur longu
...ainsi. Mais le plus souvent il n'
...que le mal. D'une part, en effet
...des circuits de pertes et,
...partant d'autres masses métall
...; ces masses seront attaqué

Digitized by Google

**Moyens à employer pour éviter les dangers de l'électrolyse.** — La mise du pôle négatif à la terre, dont nous venons de parler, localise, mais ne réduit pas le danger. On a proposé dans ce but une foule d'artifices dont la plupart sont aujourd'hui abandonnés.

Le premier qui vienne à l'esprit, c'est d'isoler les rails du sol. On peut se rapprocher de ce desideratum en plaçant les voies sur une fondation de béton ou de pierres cassées parfaitement drainée, avec une chape en asphalte, et

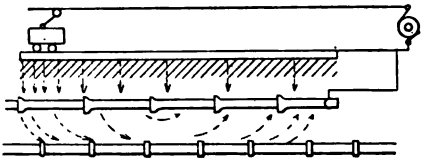


Fig. 20. — Système de liaison des conduites à la dynamo.

même, s'il y a lieu, en noyant les rails sur toute leur hauteur dans du béton d'asphalte. Mais une semblable disposition coûte très cher et ne dispense pas de donner aux rails une bonne continuité électrique; elle est d'un entretien très difficile; enfin elle peut donner lieu à des accidents par excès d'isolement lorsqu'il y a des joints défectueux, car, s'il venait à se produire un court-circuit sur une voiture, une partie des rails mal reliés à la dynamo se mettraient au potentiel élevé de la ligne aérienne et deviendraient dangereux pour les per-

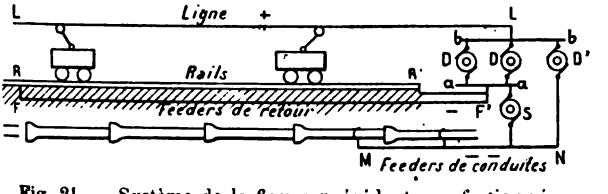



Fig. 21. — Système de la figure précédente perfectionné.

sonnes et les immeubles. Pour ces motifs, cette solution ne peut être conseillée en dehors de cas exceptionnels.

Le procédé le plus séduisant en apparence consiste à soutirer le courant de retour des conduites ou masses menacées par une ou plusieurs liaisons métalliques les réunissant soit aux rails, soit au pôle négatif de la dynamo génératrice (fig. 20) (système Farnham); en intercalant au besoin une dynamo auxiliaire (ou sous-volteur) dans le circuit de liaison (fig. 21) (systèmes Brown, Thomson, etc.), rien n'est plus facile que de rendre les conduites négatives par rapport aux rails sur toute leur longueur, et il semble que tout danger disparaisse ainsi. Mais le plus souvent il n'est que déplacé, et le remède peut être pire que le mal. D'une part, en effet, on augmente par cette liaison la conductibilité des circuits de pertes et, par suite, on peut déterminer des dérivations partant d'autres masses métalliques pour aboutir à celle qu'on a reliée (fig. 20); ces masses seront attaquées à leur tour. D'autre part, si la

Digitized by Google

te n'est pas continue, mais présente des joints mauvais conducteurs, , soumis au passage de courants plus intenses qu'auparavant, seront taqués ; le mal sera plus difficile à combattre, car il ne sera pas localisé seule région de la conduite, mais se reproduira tout le long de celle-ci. sur beaucoup de réseaux, le sens du courant dans certaines parties du du retour change avec la répartition des voitures ; telle jonction qu'on faire du côté où les conduites sont positives, pourra au contraire se dans la région négative et jouera ainsi un rôle funeste en augmentant ques d'attaque à l'autre pôle.

bonne logique, on doit éviter autant que possible d'augmenter ductibilité du sol entre les conduites et le circuit de retour, ıs conseillerons plus loin (§ 3) de mesurer la résistance d'iso- t entre ces deux masses afin de voir si cette condition est ımment remplie. Dans l'état actuel de l'industrie, la véritable on générale, la seule qui ne puisse donner lieu à des mé- es dans les limites où elle peut être efficace, consiste à uni- ser le plus possible le potentiel tout le long de la voie de . On conçoit, en effet, que dans le cas où cette voie serait entière à un potentiel uniforme, il ne pourrait se produire échange de courants d'un point à un autre. C'est donc là un irréalisable rigoureusement, mais dont on doit chercher à procher le plus possible, autant que le permet l'économie ıstruction.

**itation de la différence de potentiel.**— Pour définir le degré ormisation qu'on doit réaliser, on est conduit à fixer une de différence de potentiel le long du réseau de retour, de qu'on limite sur un réseau de lumière cette différence pour r la conservation des lampes à incandescence. Il semble ait là une base pratique et commode de réglementation. difficulté, c'est de fixer rationnellement la valeur de cette Quand on veut le faire, on reconnaît tout d'abord qu'aucune ération théorique ne peut la déterminer, car les solutions contenues dans le sol se décomposent sous les f. é. m. les ibles et tendant vers zéro. Ce fait a été établi par des expé- s du Prof. Dugald Jackson et vérifié d'autre part par l'un ıs au moyen d'une méthode très différente. Il suffit, du de laisser pendant quelques jours dans une solution de chlo-



ures, d'azotates ou de sulfates deu
ne différence de potentiel de 1,
ique électrolytique de la plaque
ne fixée qu'empiriquement.
En mesurant à l'aide d'un millian
entre deux électrodes de fer plongé
ées à une différence de potentiel
ensible que le courant, d'abord
ant progressivement avec le tem
ngérable. Cela tient à ce que la
ducts de la décomposition au vo
ent ainsi à une *polarisation* qui n
ans une cuve pleine d'une dissolut
ts de la décomposition se diffusen
ns favorable qui vient heureuseme
ntinue tant que le voltage ne dépa
le composé résultant de l'électro
ns, par exemple, lorsque l'atta
donne lieu à un enduit de carbon
résistante.
Il est difficile de préciser davantag
ts du sol sont variés et la déc
ement complexe. On peut c
ssée empirique que jusqu'à 5 v
ersion de courant entre deux mas
ent négligeables[1].
Bien qu'il y a quelques points plus
résistance du sol, par intercalatio
ssons bitumées, par exemple, p
Cest probablement en s'inspirant
en Angleterre le Board of Trade
ways de ne pas dépasser une di

[1] La résistance spécifique de la terre descen
ensions; une différence de potentiel de 2,5
0 à 4,00 m. et par suite à une densité de
ol. Il faudra donc pour faire passer 1 a
ne ampoule sensible, 100 000 heures ou 2

Digitized by Google

rures, d'azotates ou de sulfates deux électrodes de fer soumises à une différence de potentiel de 1/10 de volt pour constater une attaque électrolytique de la plaque positive. La limite ne peut donc être fixée qu'empiriquement.

En mesurant à l'aide d'un milliampèremètre le courant qui passe entre deux électrodes de fer plongées dans la terre humide et soumises à une différence de potentiel de 2 à 5 volts par exemple, on constate que le courant, d'abord assez sensible, va en diminuant progressivement avec le temps et finit par devenir presque négligeable. Cela tient à ce que la terre se sature peu à peu des produits de la décomposition au voisinage des électrodes et donne lieu ainsi à une *polarisation* qui ne se produit pas sensiblement dans une cuve pleine d'une dissolution des mêmes sels où les produits de la décomposition se diffusent plus aisément. C'est là un effet très favorable qui vient heureusement réduire les dangers de l'électrolyse tant que le voltage ne dépasse pas les chiffres ci-dessus ; si le composé résultant de l'électrolyse est isolant, comme c'est le cas, par exemple, lorsque l'attaque d'une conduite de plomb donne lieu à un enduit de carbonate, l'attaque est encore plus restreinte.

Il est difficile de préciser davantage ces considérations, parce que les sels du sol sont variés et la décomposition de leurs mélanges extrêmement complexe. On peut cependant admettre comme une donnée empirique que jusqu'à 5 volts les dangers d'attaque par dérivation de courant entre deux masses voisines d'au moins 0,50 m. sont négligeables [1].

Dès qu'il y a quelques points plus exposés, il suffit d'augmenter la résistance du sol, par intercalation de traverses créosotées ou de cloisons bitumées, par exemple, pour parer à tout danger.

C'est probablement en s'inspirant de considérations de ce genre qu'en Angleterre le Board of Trade a imposé aux compagnies de tramways de ne pas dépasser une différence de potentiel de 7 volts

[1] La résistance spécifique de la terre descend rarement au-dessous de 5 000 ohms-centimètres; une différence de potentiel de 2,5 volts à 0,50 m. de distance correspond à 0,05 volt à 0,01 m. et par suite à une densité de courant maxima de $\frac{0.05}{5\,000} = 10^{-5}$ amp. par cm². Il faudra donc pour faire passer 1 amp.-h. par cm², c'est-à-dire pour produire une attaque sensible, 100 000 heures ou 20 ans à raison de 5 000 heures par an.

Digitized by Google

points de la voie de retour les plus éloignés et l'usine; de 7 volts est fixé un peu au sentiment. En France, d'Électricité du ministère des Postes et Télégraphes a 'abaisser cette limite à 5 volts. Ce chiffre est accepté dustriels eux-mêmes, qui préfèrent cette règle étroite et à des dispositions plus théoriques, mais plus compli- qui laisseraient suspendue sur eux la menace d'avoir à eurs voies après coup au gré de l'administration; il est semblable que le ministre des Travaux Publics lui don- sanction d'une approbation officielle. Il est considéré reste, comme nécessaire à un autre point de vue par le es Postes et Télégraphes pour limiter les perturbations par les courants de retour aux communications télégra- u téléphoniques dans les villes. Comme l'a fait observer dans une remarquable communication[1], cette limite de implique pas de difficultés de réalisation inacceptables : la ligne ne dépasse pas 6 à 7 kilomètres de longueur à l'usine, elle exige seulement une voie bien éclissée élec- nt; au delà de cette distance, elle demande des feeders et dés d'uniformisation dont nous allons parler et qui n'ont cessif comme complication ni comme dépense.

lement anglais impose aussi une autre règle, c'est que, là nduites sont positives, leur excès de potentiel par rapport ne dépasse pas la f. é. m. d'un élément Leclanché. Si l'on re l'exemple anglais jusqu'au bout, on devrait donc en nposer pour cette différence une limite de 1 volt, ce qui alement rationnel et plus direct comme effet que la limi- voltage total; mais le chiffre 2 nous paraît suffisant a note de la page précédente.

hors des voies sur lesquelles on peut rencontrer des con- ar exemple sur les lignes suburbaines, la règle des 5 volts de raison d'être et la limitation de la variation de voltage as trop augmenter les dérivations à la terre est une affaire de t. Le Comité d'Électricité a proposé de la fixer à 1 volt par e; mais on pourrait admettre le double sans inconvénient.

*n de la Société des Électriciens*, mai 1896.



**Moyens d'uniformiser le potentiel**

Moyens propres à uniformiser le p
peuvent se diviser en deux catégories :
ée pour les voies sur lesquelles
ns convenables avec l'usine. Nous
ouvrage, que les mentionner très

*Bonne conductance des voies.* — En
conductance dépend à la fois des
Si l'on emploie des rails lourds,
de la voie, ils sont en général
pour donner de bons résultats, bi

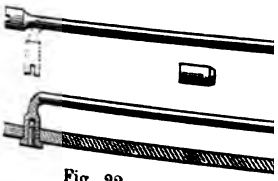


Fig. 22. — Joint « Ch

de l'acier à rails soit ordinaireme
cuivre et non pas 6 fois comm
joints jouent trop souvent le r
et l'on fait bien d'en diminuer le
longs, de 10 m. par exemple. Pour
entre rails, les éclisses ordinaires
sité et de l'oxydation des surfaces
de métal à métal. On améliore ce
ctions électriques, dont on doit p
qu'elles ont à porter.

d-tails voir : A. Potier, *loc. cit.* ; A.
d, 9 mai 1896 ; A. Blondel, *L'Éclairage*
Mamerque, *L'Éclairage Électrique*, t. VI
ont se trouvent des tableaux de chutes d
établis dans des hypothèses plus favor
de l'acier des rails.
ut pas confondre le fer doux et l'acier : l
altéré par tous les corps étrangers, tels qu
quantité de manganèse suffit pour la réduir
échantillons de rails à ce point de vue ;
supérieure à 16 ou 17 microhms-centimètres
cahiers de garantie à cet égard ; du reste,
durabilité médiocre, s'ils ont une section
électrique.

Digitized by Google

**Moyens d'uniformiser le potentiel du réseau de retour.** — Les moyens propres à uniformiser le potentiel du réseau de retour peuvent se diviser en deux catégories : réalisation d'une conductance élevée pour les voies sur lesquelles circulent les voitures; jonctions convenables avec l'usine. Nous ne pouvons, dans le cadre de cet ouvrage, que les mentionner très sommairement[1].

*Bonne conductance des voies.* — En ce qui concerne les voies, leur conductance dépend à la fois des rails et des jonctions entre rails. Si l'on emploie des rails lourds, comme le demande la stabilité de la voie, ils sont en général très suffisamment conducteurs pour donner de bons résultats, bien que la conductibilité spé-

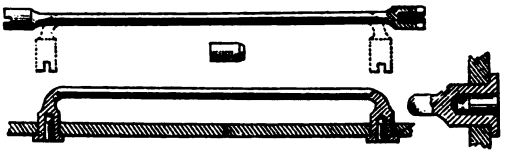


Fig. 22. — Joint « Chicago ».

cifique de l'acier à rails soit ordinairement 8 à 12 fois moindre que celle du cuivre (et non pas 6 fois comme on le dit trop souvent[2]).

Les joints jouent trop souvent le rôle principal dans la résistance et l'on fait bien d'en diminuer le nombre, en employant des rails longs, de 10 m. par exemple. Pour assurer la continuité électrique entre rails, les éclisses ordinaires ne suffisent pas, à cause de la rugosité et de l'oxydation des surfaces qui empêchent le contact intime de métal à métal. On améliore ces conditions par l'addition de jonctions électriques, dont on doit proportionner la section au courant qu'elles ont à porter.

[1] Pour plus de détails voir : A. Potier, *loc. cit.*; A. Lauriol, *L'Éclairage Électrique*, t. VII, p. 241, 9 mai 1896; A. Blondel, *L'Éclairage Électrique*, t. VII, p. 97, 18 juillet 1896; Monmerqué, *L'Éclairage Électrique*, t. VII, p. 5, 30 octobre 1896. Dans ce dernier travail se trouvent des tableaux de chutes de voltage en fonction du nombre des voitures, établis dans des hypothèses plus favorables que les nôtres sur la conductibilité de l'acier des rails.

[2] Il ne faut pas confondre le fer doux et l'acier : la conductibilité de ce dernier se trouve diminuée par tous les corps étrangers, tels que le carbone et le silicium; une très petite quantité de manganèse suffit pour la réduire de moitié. Il est donc bon de vérifier les échantillons de rails à ce point de vue; ils ne devraient pas avoir une résistivité supérieure à 16 ou 17 microhms-centimètres. Mais on ne peut obtenir encore des fournisseurs de garantie à cet égard; du reste, on peut employer des rails plus durs, de conductibilité médiocre, s'ils ont une section suffisante.



Digitized by Google

ons les plus employées jusqu'à une époque récente et dont la plus
le joint « Chicago » consistent (fig. 22) en un ou mieux plusieurs
de cuivre terminés par des boutons de même métal qu'on force
ous percés dans l'âme ou le patin du rail. Au moment où il vient
ce joint présente très peu de résistance au contact entre le bouchon
mais à la longue, si le joint se desserre, les surfaces de contact
t la résistance peut augmenter dans de très fortes proportions.
ı reste, critiquer le principe même de cette méthode, qui consiste
ser de gros courants de fer à cuivre par de petites surfaces non
ı section des fils employés est souvent trop petite proportionnelle-
e des rails.

de ces jonctions doit toujours être complété par l'addition de fils
ion de rails à rails et de voies à voies pour assurer plus complète-

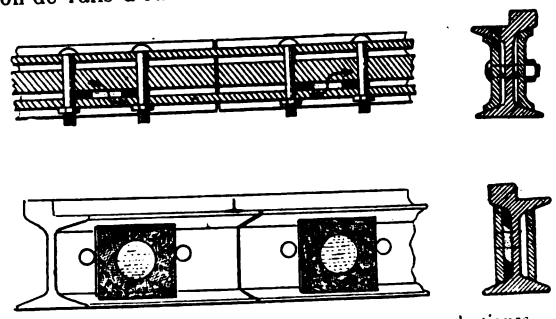


Fig. 23. — Joint Brown-Edison à tampons plastiques.

ontinuité du retour en cas de rupture de l'un des joints. On a aussi
les fils supplémentaires courant parallèlement aux voies et reliés de
in aux précédents ; mais cette adjonction coûteuse est abandonnée
ui presque partout, parce que ces fils n'ajoutaient presque rien à la
nce totale et étaient vite détruits par l'électrolyse. Mieux vaut mettre
ou en triple les fils de jonction ordinaires.

employés pour les jonctions et connexions ont en général 8 à 10 mm.
être. Il ne faut pas, en général, que le courant y dépasse 2 amp.
de section ni 1/5 d'amp. par mm² de surface de contact avec le rail.
sultats bien meilleurs et surtout plus durables sont donnés par des
us modernes comportant de larges surfaces brasées ou amalgamées.
ter en particulier l'amalgame *Brown-Edison*, qui a reçu de nombreuses
ons. C'est un composé secret à base de mercure et de sodium, qui peut
oloyé soit liquide, soit à l'état de pâte plastique, et qui jouit de la pro-
e donner à la surface du fer et du cuivre des alliages brillants et
bles. On peut l'employer en perçant deux godets dans le patin du rail et
ant les extrémités d'un pont en cuivre serré entre l'éclisse et les rails
rown) ou en serrant entre l'éclisse et les rails, préalablement frotté
ame liquide, une plaque de liège contenant deux tampons d'amalgame
e (joint Edison-Brown) (fig. 23). Avec ce système, les fils de sûreté
nt inutiles.

ıtre procédé, très séduisant, consiste dans la soudure des rails suivant



méthodes exposés en détail au chapitre II
de la conductibilité obtenue, surto
de fonte en fusion ; mais il ser
on puisse arriver à un résultat satisfa
ce procédé possède au point de v
supériorité bien nette sur le précédent ;
c'est qu'il donne parfois lieu en hive
d'un écartement des tronçons suppri
à réparer. La soudure des rai
de fils d'interconnexion de forte sect
elle est, par suite, peu économique à ce
que dans les considérations me
au chapitre III.

une voie bien jointée, on
une distance de 5 ou 6 km. à
un trafic assez intense.
delà de cette distance, il est très p
conductance des voies par adjonctio
mis en parallèle. Cela serait du
acier coûtant moins cher que le cu
toujours préférable de forcer la se
en même temps une voie plus s
que la conductance de la voie
une chute de potentiel au plus é
aux artifices suivants, dont l'e
les fois que le réseau affecte u

*ribution par feeders.* — Une distri
obéir aux mêmes principes
d'un réseau de lumière, on
procédés que pour ceux-ci, c'es
aux machines génératrices par un
rayonnant autour de la station.

représente schématiquement les
par les ingénieurs de traction dans l
d'en arriver à cette conception
qu'un cas particulier des distri
feeders : dans la première période, s'ét
parfaitement reliés, plaques de terre abo

Digitized by Google

les méthodes exposés en détail au chapitre III. Les avis sont assez partagés sur la valeur de la conductibilité obtenue, surtout en ce qui concerne la soudure par coulage de fonte en fusion ; mais il semble bien qu'avec une exécution soignée on puisse arriver à un résultat satisfaisant. Néanmoins nous ne croyons pas que ce procédé possède au point de vue de la conductance électrique une supériorité bien nette sur le précédent ; il présente en tout cas un défaut sérieux, c'est qu'il donne parfois lieu en hiver à des ruptures de rails, qui sont suivies d'un écartement des tronçons supprimant la continuité du circuit et sont longues à réparer. La soudure des rails ne saurait donc dispenser de l'emploi de fils d'interconnexion de forte section, reliant les rails de loin en loin ; elle est, par suite, peu économique à ce point de vue et ne peut trouver sa justification que dans les considérations mécaniques développées précédemment au chapitre III.

Avec une voie bien jointée, on peut, sans autre dispositif, atteindre une distance de 5 ou 6 km. à partir de la station, même avec un trafic assez intense.

Au delà de cette distance, il est très peu économique d'augmenter la conductance des voies par adjonction de câbles conducteurs en cuivre mis en parallèle. Cela serait du reste tout à fait irrationnel, car, l'acier coûtant moins cher que le cuivre à conductance égale, il serait toujours préférable de forcer la section des rails, ce qui donnerait en même temps une voie plus solide.

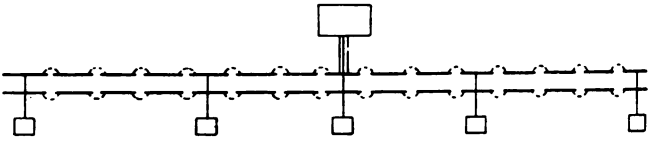
Lorsque la conductance de la voie seule est insuffisante pour assurer une chute de potentiel au plus égale à 5 volts, on doit donc recourir aux artifices suivants, dont l'emploi s'impose, du reste, toutes les fois que le réseau affecte une forme maillée un peu complexe.

*Distribution par feeders.* — Une distribution de retour de tramway devant obéir aux mêmes principes que les deux circuits de distribution d'un réseau de lumière, on appliquera exactement les mêmes procédés que pour ceux-ci, c'est-à-dire qu'on reliera les voies aux machines génératrices par un réseau de feeders ou gros câbles rayonnant autour de la station.

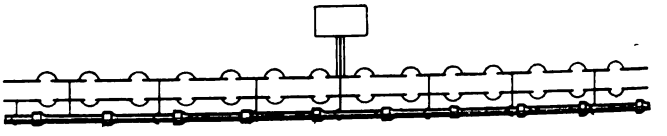
La figure 24 représente schématiquement les étapes qui ont été lentement parcourues par les ingénieurs de traction dans l'emploi des voies comme conducteurs avant d'en arriver à cette conception si simple que le réseau d'un tramway n'est qu'un cas particulier des distributions d'énergie et doit être muni de feeders : dans la première période, s'étendant jusqu'en 1889 environ, rails imparfaitement reliés, plaques de terre abondantes, circuit de retour assi-

Digitized by Google

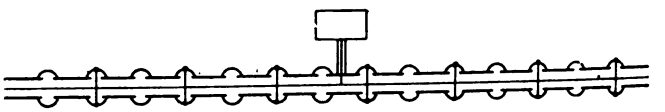
: à celui d'une ligne télégraphique ; dans la seconde, allant jusque vers 1892, loi des conduites comme conducteurs auxiliaires, addition de fils de con- on aux joints ; dans la troisième, de 1892 à 1895, suppression des liaisons : les conduites rongées par l'électrolyse, amélioration très grande de la luctance des voies par l'emploi de jonctions plus fortes, de connexions e rails et de fils supplémentaires ; enfin, depuis cette dernière époque, :eption plus rationnelle du retour, suppression des fils supplémentaires



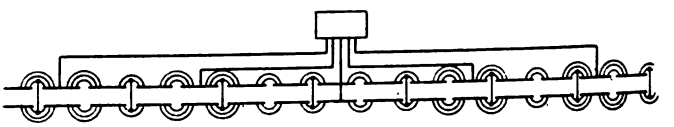
Première période.



Deuxième période.



Troisième période.



Quatrième période.

Fig. 24. — Perfectionnements successifs apportés au circuit de retour.

placés par des feeders judicieusement employés, emploi de joints élec- ues plus nombreux et de section proportionnée aux courants prévus dans liverses parties de la ligne.

'our que les feeders produisent tout leur effet, il faut qu'ils ınent à leur extrémité aboutissant à la ligne des potentiels sen- ement égaux. Les dispositifs à employer dans ce but n'ont rien riginal ; ce sont simplement ceux qu'on utilise déjà dans les dis- utions de lumière : emploi de sections différentes pour les lers, rhéostats de feeders, survolteurs en série, etc.

Digitized by Google

Lorsque les réseaux sont polygonaux et les longueurs des feeders peu différentes et qu'on connaît la répartition moyenne des charges (qui dépend du profil en long et de l'horaire), on peut donner aux feeders des sections inversement proportionnelles à leurs longueurs, de façon que les pertes de voltage dans les divers feeders soient les mêmes. Lorsque les inégalités de longueur sont trop considérables et exigeraient des sections trop différentes, il faut recourir aux rhéostats de feeders pour augmenter la résistance des feeders les plus courts.

Dans le cas d'une longue ligne séparée, la question est plus difficile à résoudre que dans le cas d'un réseau polygonal. La figure 25 montre une solution simple, inspirée d'un procédé moins exact de M. *Farnham :* le feeder est formé d'un câble de section décroissante (de façon que la densité du courant

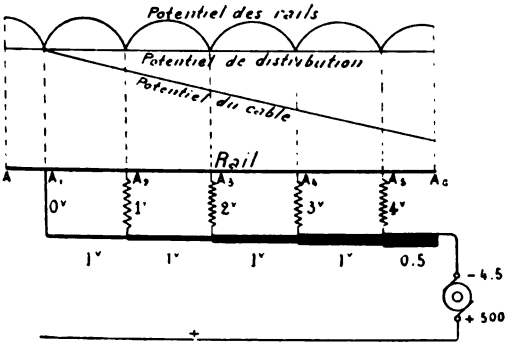



Fig. 25. — Schéma du système d'uniformisation du potentiel par feeders avec rhéostats dans le cas d'une ligne unique.

reste constante) relié à la voie par des rhéostats dont la résistance décroît également en s'écartant de la station. Les chiffres ajoutés indiquent, par exemple, les valeurs à donner aux chutes de potentiel dans les diverses parties du câble et dans les rhéostats pour obtenir l'uniformisation du potentiel aux points de distribution en consentant une perte de 4,5 volts dans les feeders. Les courbes indiquent les variations du potentiel, en supposant le courant des voitures uniformément réparti sur les rails.

On remarquera que l'égalisation de voltage est ainsi obtenue au détriment du rendement. Aussi vaut-il mieux, suivant le dispositif indiqué d'abord par *M. Cardew* et par M. *H. P. Brown* en 1895, intercaler dans les feeders où la chute de voltage est la plus forte des *sous-volteurs*, c'est-à-dire de petites dynamos entraînées par des moteurs mécaniques ou électriques et reliées par leur pôle positif à la barre négative du tableau et par leur pôle négatif au feeder venant de la voie de retour, dont on abaisse ainsi le potentiel d'une manière très sûre et très efficace[1]. Le réglage de l'excitation du sous-volteur donne le moyen de régler aisément le débit des différents feeders. Ce système a été adopté,

[1] Même si les dynamos de l'usine ne sont pas très bien isolées, le sous-volteur produit son effet, parce que le courant qui revient directement aux dynamos est forcément négligeable à côté de celui qui passe par les sous-volteurs.

Digitized by Google

exemple, à Rouen pour deux des feeders du circuit de retour. La figure 26 lique schématiquement dans le cas d'une ligne unique semblable à la :édente et recevant 40 amp. par tronçon.

es deux derniers procédés ont été étudiés d'une façon détaillée et très

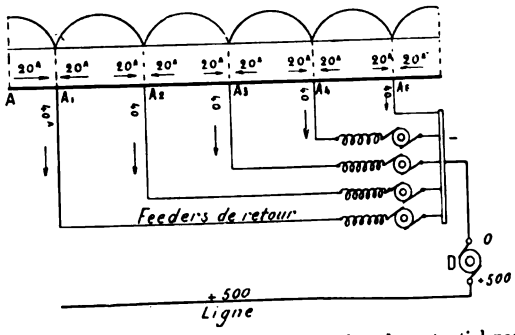
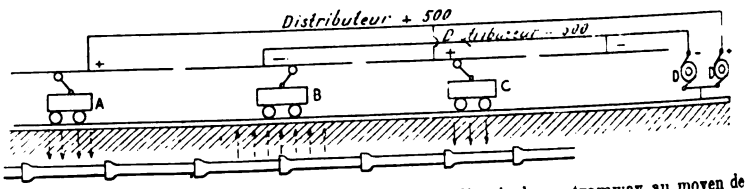



Fig. 26. — Schéma du système d'uniformisation du potentiel par feeders avec sous-volteurs dans le cas d'une ligne unique.

nplète dans le cas d'une ligne séparée par M. Potier, et celui-ci a montré 'au delà de 5 km. ils deviennent très onéreux ou insuffisants. Heureusement e les lignes de plus de 5 km. de longueur sont le plus souvent au moins en rtie suburbaines et peuvent alors admettre une chute de voltage supplé- ntaire de 1 volt par kilomètre; si toute la voie est en rase campagne, n ne limite même cette perte de charge et la distribution directe reste ceptable dans les limites où elle est économique.

S'il s'agit au contraire d'une ligne urbaine de plus de 5 km. de rayon, on




g. 27. — Schéma de la distribution à 3 fils appliquée à un tramway au moyen de deux feeders distribuant le courant à un fil de service sectionné en tronçons alternativement positifs et négatifs.

oit recourir soit à la distribution à 3 fils (fig. 27), essayée en Amérique à ortland dès 1890, mais dont les difficultés pratiques de construction et d'isole- ıent, surtout aux croisements, ont jusqu'ici empêché l'emploi[1], soit préférable- ıent à la distribution indirecte par lignes à haute tension alimentant un ré- eau secondaire à basse tension à l'aide de sous-stations. Nous avons signalé u chapitre XII les deux méthodes actuellement en concurrence pour l'emploi e la distribution indirecte, suivant qu'on emploie des moteurs à courant con- inu ou des moteurs polyphasés.

[1] L'emploi des 3 fils sur les lignes de Pierrefitte-Cauterets et de Chapareillan, équi- ›ées par le Creusot, modifiera peut-être cette opinion.

Digitized by Google

Quel que soit le procédé adopté, il est bon d'employer, comme l'a montré l'un de nous [1], à peu près autant de feeders de retour que de feeders d'aller ; il sera donc commode de les prévoir par paires et de leur donner des sections proportionnelles, de façon à réaliser une densité de courant constante [2].

Nous rappelerons, en terminant, que les dangers d'électrolyse peuvent être complètement supprimés par les systèmes à deux fils de service, à courants alternatifs ou à accumulateurs. Mais ces procédés présentent, en revanche, des difficultés pratiques qui en ont jusqu'ici réduit l'emploi à quelques applications isolées.

**Calcul de la chute de potentiel.** — Pour un projet de traction, il est nécessaire, d'après ce qui précède, d'évaluer les chutes de voltage le long des voies de retour. On peut le faire sommairement comme il suit.

La résistance par kilomètre d'une voie de tramway simple ou double se calcule par la formule

$$R = \frac{0{,}00110\ L}{mp} + \frac{n}{m}\left[\frac{0{,}0175\ l}{5} + r\right],$$

en appelant :

L la longueur en mètres des rails entre joints pour un kilomètre de voie ;
$m$ le nombre des files de rails (2 ou 4) ;
$p$ le poids des rails en kilogrammes par mètre ;
$n$ le nombre de joints au kilomètre ;
$l$ la longueur en mètres des fils de jonction d'un joint ;
$s$ leur section totale en mm² ;
$r$ la résistance de contact d'un joint (entre les rails et la connexion électrique), négligeable pour un joint récent et bien fait.

On prend 1,75 microhm-centimètre pour la résistance spécifique des fils de

[1] *L'Éclairage Électrique*, 18 juillet 1896.

[2] Si l'on admet une chute de potentiel de 50 volts au maximum sur les lignes aériennes et de 5 volts au minimum sur les lignes de retour, on a entre leurs résistances la relation nécessaire

$$\frac{\rho' l'^2}{s'} < \frac{1}{10}\frac{\rho l^2}{s},$$

en appelant $\rho$ la résistivité du cuivre, $s$ la section de la ligne aérienne, $l'$ sa longueur entre deux points de distribution et $\rho'$, $s'$, $l'$ les mêmes quantités pour la voie de retour. En admettant $\frac{\rho'}{\rho} = 8$ environ et majorant la résistance des rails dans un rapport $k$ pour tenir compte des joints, on a donc

$$\frac{l'^2}{s'} < \frac{1}{80}\frac{l^2}{k\,s}.$$

Cette relation définit la proportion à établir entre les sections de la ligne aérienne et de la voie de retour. Si, pour prévoir l'altération des joints, on fait $k = 1{,}2$, on trouve qu'il faudra prendre $l' < l$ dès que la section du cuivre atteint 85 mm², lorsque les rails pèsent 40 kg. au mètre courant, ou 106 mm² lorsqu'ils pèsent 50 kg. En général, sauf vérification, il est bon de prévoir autant de feeders de retour que de feeders d'aller.

Digitized by Google

:tion et 15 microhms-centimètres pour celle de l'acier à rails. On néglige onductibilité supplémentaire très faible due aux connexions de voie à voie de rail à rail.

our une voie soudée, la parenthèse est nulle et la longueur L = 1000 m.: R = $\frac{1,10}{m\rho}$. Par exemple, une voie soudée en rails de 40 kg. présente une stance par kilomètre d'environ 0,014 ohms.

a résistance des joints intervient surtout sur les vieilles voies, en donnant à e de l'ensemble une valeur plus grande

$$R' = k \frac{1,10}{m\rho}.$$

coefficient $k$ varie avec le type de joint et les dégradations qu'il a subies service. L'expérience montre qu'avec des joints du genre « Chicago » $k$ ne t guère descendre au-dessous de 1,20 à 1,30 et qu'il dépasse souvent 1,5.

n Amérique on a trouvé pour des joints récents une résistance totale de à 300 microhms suivant les types ; avec de bons joints doubles, on peut nettre 100 microhms. D'après M. Rowland, cette résistance peut être décu- dans une voie en place. M. Parshall est bien plus optimiste et pour lui rait voisin de l'unité.

vec des joints amalgamés, la résistance totale d'un joint ne dépasserait pas, près l'inventeur, 20 à 50 microhms, ce qui rendrait leur influence négli- ble. D'après les propriétaires du brevet Falk pour la soudure à la fonte. joints de leur système réduiraient même légèrement la résistance des es ; d'autre part à Lyon on aurait trouvé $k$ au plus égal à 1,05.

a chute de potentiel maxima sur un tronçon compris entre deux points boutissement de feeders au même potentiel peut se déterminer approxi- ivement en supposant le courant total des voitures qui se trouvent sur ce çon divisé en deux parties égales dont les points de consommation seraient és au 1/4 et aux 3/4 de sa longueur. Par exemple, dans des conditions moyen- d'exploitation, avec une voiture par kilomètre et une consommation de mpères par voiture, un tronçon de 10 kilomètres de voie simple ayant une stance totale de 0,020 ohm par kilomètre et alimenté aux deux bouts con- me $10 \times 15 = 150$ ampères. La chute de potentiel maxima est de $\frac{2 \times 10}{4} \times 75 = 3.75$ volts. Avec une voie plus accidentée ou des voi- es à impériale consommant 20 amp., elle atteindrait 5 volts. On peut donc mer, comme nous l'avons déjà dit, qu'une ligne bien jointée peut s'étendre qu'à 5 ou 6 km. de la station centrale sans avoir besoin de feeders et ne ligne à grand parcours pourrait n'être alimentée que tous les 10 km.

La vérification des différences de potentiel se fait par le même cédé que dans les distributions de lumière, c'est-à-dire à l'aide voltmètres et de fils pilotes établis dans ce but entre l'usine et points des voies les plus éloignés. Nous reviendrons sur ce et avec plus de détails aux paragraphes 2 et 3.

Digitized by Google

**Protection des ponts métalliques.** — Lorsque les voies traversent un pont métallique, il est à craindre que les courants qui suivent les rails et qui sont souvent très importants ne soient dérivés à travers la masse de l'ouvrage et ne donnent lieu à des corrosions dont les effets seraient encore plus redoutables que pour les conduites métalliques. Le même danger de dérivations se présente indirectement et à un degré beaucoup moindre pour tout pont traversé par des conduites métalliques voisines, en un autre point, des voies du tramway. Il y a lieu d'examiner les précautions à prendre contre ces deux causes de dérivation.

La première et la plus simple, c'est d'isoler les rails et les conduites. Pour cela, on asséchera parfaitement les matériaux formant la chaussée entre les rails et le tablier; on aura soin de ne faire reposer ni les rails ni les conduites directement sur la charpente du pont, mais de les en séparer par des substances isolantes. L'emploi sous chaque rail d'un massif de béton recouvert d'un enduit d'asphalte et la pose des pavés voisins à bain de mortier s'opposeront efficacement au passage des courants dérivés. On pourrait améliorer encore ces dispositions, si c'était nécessaire, par l'emploi d'une chape générale en asphalte ou en noyant les rails sur toute leur hauteur dans une garniture de béton d'asphalte; mais ce sera en général superflu.

En second lieu, la continuité électrique des rails devra être assurée avec plus de soin encore que sur les autres parties du retour. On devra surtout parer à tout risque de rupture des connexions de joints, en employant celles-ci en double; avec des voies soudées, des jonctions de sûreté devront également être prévues.

On pourra considérer en pratique le danger d'attaque comme négligeable si la différence de potentiel entre les rails des deux extrémités du pont est inférieure à 0,25 volt et si en aucun point le pont n'est positif de plus de 0,25 volt au-dessus du potentiel des conduites qu'il supporte. La première de ces conditions est aujourd'hui admise par le Comité d'Électricité du ministère des Postes et Télégraphes et par la Commission des Distributions électriques d'énergie du ministère des Travaux Publics.

Nous indiquerons au paragraphe 3 les procédés de contrôle correspondants.

Digitized by Google

bout d'un certain temps, on constatait que ces conditions ne sont ıplies ou qu'il y a attaque du pont à la sortie, ce qui est peu vraisem- ɔn pourrait faire disparaître cet accident par l'amélioration soit de ·nt des rails, soit de leur conductance. Celle-ci peut toujours être ıussi parfaite qu'on le désire en plaçant sur le pont un conducteur grande section, relié aux rails aux deux bouts du pont et calculé de 'en le supposant suivi par le courant total qui traverse le pont il donne e chute de potentiel inférieure à la limite fixée.

es procédés ont aussi été proposés : par exemple, on pourrait essayer r en terre à l'entrée du pont (côté par où il reçoit le courant) un filet ue relié directement à l'usine par un feeder et captant les courants un feeder aboutissant aux rails et disposé de façon à réduire au n le courant sur le pont sera en tout cas avantageux ; enfin on peut utre extrémité du pont (celle par où sort le courant) aux rails et aux s de façon à égaliser leurs potentiels respectifs ; mais cette dernière est sujette aux mêmes objections que les liaisons de conduites aux ıe paraît pas pouvoir être recommandée, étant donné surtout les chan- de signe possibles des courants traversant le pont.

ècautions indiquées ci-dessus suffisent, croyons-nous, à mettre les ponts le tout danger sérieux et peuvent tranquilliser absolument les ingé- Ceux-ci pourront, du reste, vérifier de temps en temps de visu l'état s de pont et des poutres sur la culée par où sort le courant.

ıns dire que, si des conducteurs d'énergie suivent un pont métallique, nt être parfaitement isolés de la charpente métallique et munis d'in- ırs de sectionnement aux deux extrémités de l'ouvrage.

## '. — Perturbations causées aux communications télégraphiques et téléphoniques

ralités. — En dehors des dangers matériels provenant, on l'a vu plus haut, d'un contact accidentel, les lignes télé- ıues et téléphoniques sont exposées de la part des lignes de tion d'énergie à des inconvénients très gênants. Les com- tions sont soumises, du fait de leur voisinage, à des pertur- plus ou moins importantes : les courants des installations elles étant en général des milliers ou des millions de fois enses que les courants télégraphiques ou téléphoniques, les roduits par les premiers peuvent, malgré une faible valeur (par exemple une perte de 1/1000 ou 1/1000000 du cou- al), acquérir une importance prépondérante par rapport aux . On conçoit donc que la protection des services considérés problème très délicat et dispendieux à résoudre.

n'entrerons pas ici dans le détail des solutions appliquées;



ne étude est du reste
ɔteurs des télégraphes
ıserons seulement que
ıctions que doivent conn

Causes des perturbations
ıreprises de traction éle
Ferentes :

1° Un *mélange de couran*
: à terre comme *conducte*
ıants de la ligne de tracti
ıce du sol, des différence
: m. des piles employées
ıl déterminer dans ce scircu
même beaucoup *plus impor*
ıications ; comme les cour
ables², ils donnent ainsi
ıses : l'effet est d'autant plu
ıe sont plus voisines des ra
: de ceux-ci est plus forte ;
ıre de potentiel de 7 volts e
ıe des annonciateurs téléphon
ıon des Postes et Télégraphes

2° Des *effets d'induction à di*
ıectrostatiques, par suite des
ıes conducteurs d'énergie d
ıraphiques voisines des ondula
ıe et la période dépendent des c
ıduction, des lignes considéré
ıes parallèlement aux conducte

ıpart de ces remarques sont emprunt
Wietlisbach au Congrès international des
Van Vloten à l'Union permanente des T
ıpposant constant ne produirait aucun br
ıer qu'un échauffement supplémentaire
ıt de vue électrostatique, les conduct
ıques voisins jouent le rôle des deux a
ıque est formé par les isolants réunis par

Digitized by Google

cette étude est du reste presque exclusivement du ressort des ingénieurs des télégraphes et échappe à notre compétence. Nous donnerons seulement quelques connaissances générales sur les questions que doivent connaître les agents du contrôle [1].

**Causes des perturbations.** — Les perturbations produites par les entreprises de traction électrique peuvent avoir deux origines différentes :

1° Un *mélange de courants*, résultant en général de l'emploi de la terre comme conducteur de retour par les téléphones : les courants de la ligne de traction produisant, comme on l'a vu, à la surface du sol, des différences de potentiel du même ordre que la f. é. m. des piles employées dans les circuits téléphoniques peuvent déterminer dans ce scircuits des courants de même grandeur, ou même beaucoup plus importants, que ceux qui servent aux communications ; comme les courants de traction sont constamment variables [2], ils donnent ainsi lieu à des bruits plus ou moins intenses; l'effet est d'autant plus marqué que les terres du téléphone sont plus voisines des rails et que la chute de potentiel le long de ceux-ci est plus forte ; il suffit en général d'une différence de potentiel de 7 volts entre deux terres pour amener la chute des annonciateurs téléphoniques, ce qui conduit l'administration des Postes et Télégraphes à imposer une limite de 5 volts;

2° Des *effets d'induction à distance*, soit électromagnétiques, soit électrostatiques, par suite desquels toute variation de courant dans les conducteurs d'énergie détermine dans les canalisations télégraphiques voisines des ondulations électriques, dont la grandeur et la période dépendent des constantes (résistance, capacité, self-induction) des lignes considérées et de la longueur des parties placées parallèlement aux conducteurs d'énergie [3] ; les effets élec-

[1] La plupart de ces remarques sont empruntées à de très complets rapports de feu le Dr Wietlisbach au Congrès international des Electriciens de Genève, en août 1896, et de M. van Vloten à l'Union permanente des Tramways, à Stockholm, la même année.

[2] Un courant constant ne produirait aucun bruit dans les téléphones et ne pourrait occasionner qu'un échauffement supplémentaire du fil.

[3] Au point de vue électrostatique, les conducteurs de tramways et les conducteurs téléphoniques voisins jouent le rôle des deux armatures d'un condensateur dont le diélectrique est formé par les isolants réunis par la terre conductrice. Toute variation

Digitized by Google

atiques se font sentir les premiers et déjà à des distances de 300 m., suivant la longueur des circuits.

ivant les cas, la dérivation ou l'induction est la plus gênante.

**nèdes et correctifs.** — Les perturbations de la première catégorie peu-tre assez facilement réduites en diminuant la chute du potentiel le long du r [1] et en éloignant les prises de terre téléphoniques le plus possible oies. On les évite plus sûrement en remplaçant la terre comme retour un des fils télégraphiques ou téléphoniques par un conducteur métal-isolé. D'après M. Piérard [2], il conviendrait de donner à ce fil mêmes isions et constantes qu'aux fils d'aller; pour éviter les indiscrétions résul-es dérivations de ligne à ligne, cet auteur a proposé de ne mettre la de chaque poste sur le fil de retour commun qu'au moment où ce poste onne. Les résultats obtenus dans certaines villes, notamment à Dijon, l'une manière générale satisfaisants.

procédé n'est cependant pas toujours suffisant, car, s'il subsiste des s d'isolement sur les canalisations, elles peuvent donner lieu à un ge de courants. C'est le cas surtout si les deux espèces de canalisations placées sur les mêmes poteaux. Il faut donc veiller à ce que l'isolement nducteurs d'énergie et de téléphone soit le plus parfait possible.

perturbations de la seconde catégorie, dont les effets électrostatiques en général les plus importants, sont beaucoup plus difficiles à annuler. ut attribuer les variations rapides de courant qui donnent lieu au bruis-t perçu dans les téléphones à quatre causes principales :

Pulsations du courant des génératrices;

Variations du contact des roues des voitures avec les rails;

Ruptures ou variations du contact de l'appareil de prise de courant avec aérien;

Ondulations de la f. é. m. des moteurs des voitures et surtout effets des cts variables du collecteur sous les balais.

première cause est peu sensible avec les dynamos à courant continu. En cas, il semble difficile de l'annuler plus complètement qu'on ne le fait ici, car l'intérêt même de la conservation des collecteurs des dynamos it les constructeurs à leur donner un nombre de touches suffisant. La iption du Board of Trade qui exige un courant bien constant est donc héorique que pratique en ce qui concerne ces machines; mais elle con-

rge des uns produit donc une variation correspondante de charge des autres et, ite, des courants de déplacement dans le circuit dont les conducteurs formant re font partie. Cet effet se produit sans que les conducteurs voisins aient besoin parallèles; il est proportionnel à la capacité relative des surfaces des parties s et, par suite, croît avec la longueur des câbles et en raison inverse de leur ement. L'induction électromagnétique exige un certain parallélisme entre les s inducteurs et induits pour que les ondes électromagnétiques produites par le r coupent le second; les courants induits sont proportionnels aux variations du t inducteur et en raison inverse de la résistance du circuit induit.

ir les procédés d'uniformisation indiqués au paragraphe précédent.

*lletin de l'Association des Ingénieurs de l'Institut Montefiore*, 22 mai 1895.

Digitized by Google

duit à interdire l'emploi des courants alternatifs, que nous considérerons à part plus loin.

La seconde et la troisième cause, mises en évidence l'une par M. J. H. West[1], l'autre par le Dr Du Riche Preller dans deux intéressants travaux[2], ne sauraient être méconnues. Les remarques du second de ces auteurs en particulier sont très intéressantes en ce qu'elles tendent à établir une supériorité de l'archet ou du frotteur sur le trôlet comme appareil de prise de contact, par suite de ses moindres vibrations.

Mais, d'après ses recherches expérimentales, le Dr Wietlisbach, sans nier ces causes de perturbation, a conclu[3] qu'il ne fallait pas leur attribuer une part prépondérante et que c'est à la dernière, c'est-à-dire à l'effet des moteurs eux-mêmes, qu'appartient le rôle principal dans le bruit persistant qu'on entend dans les téléphones. Ce bruit varie peu, il est vrai, avec le nombre de touches au collecteur; mais l'expérience a montré qu'il persiste lorsque la voiture est arrêtée et qu'en la soulevant sur un chevalet on continue à faire tourner les moteurs; il semble donc provenir principalement d'un effet de microphone produit par les vibrations des balais en charbon des moteurs.

Sans vouloir discuter ces diverses opinions, il nous paraît établi que les effets perturbateurs principaux sont tous du même genre, c'est-à-dire proviennent des variations des divers contacts existant dans le circuit d'un tramway.

Pour réduire les perturbations par induction, il serait désirable que les conducteurs d'énergie positif et négatif fussent parallèles et très rapprochés, comme sur les lignes à conduite souterraine ou à double trôlet; mais c'est une disposition trop dispendieuse pour qu'on puisse en général l'imposer. Sur les lignes à simple trôlet, on peut réduire dans certains cas l'effet perturbateur en alimentant chaque section de la ligne aérienne par ses deux extrémités, de sorte que les courants arrivant à chaque voiture en sens inverse produisent des actions inductives contraires. Quand les perturbations sont trop intenses et que le système du retour commun indiqué plus haut ne donne pas de résultat, on est obligé soit de déplacer les lignes télégraphiques et téléphoniques, soit de les doubler en donnant à chacune un fil d'aller et un fil de retour séparés parallèles et très rapprochés. C'est un remède radical pour des installations à courant continu et son seul inconvénient est d'être coûteux. Mais il peut ne pas être encore suffisant pour les tramways à courants alternatifs, qui donnent lieu non seulement à des courants dérivés importants, s'il y a le moindre défaut d'isolement, mais surtout à des effets d'induction continuels et très intenses : même avec des fils doubles, une ligne aérienne parallèle sur quelques centaines de mètres à la ligne de tramway est, si elle présente une certaine capacité, le siège d'un courant parasite assez intense pour rendre les communications impossibles ; il faut alors loger les fils téléphoniques dans des tuyaux souterrains, ce qui est très dispendieux[4].

[1] *Elektrotechnische Zeitschrift*, 1896.

[2] *The Electrician*, 10 janvier 1896. M. Du Riche Preller a constaté des perturbations beaucoup moins fortes à Genève (frotteur) et à Bâle et Mulhouse (archet) qu'à Zürich, Marseille et le Havre (trôlet).

[3] *Loc. cit.*

[4] Il y a là, comme l'a dit M. Wietlisbach, non plus une lutte courtoise, mais un véritable abus de force de la part de l'installation de tramway à l'égard des téléphones.

Digitized by Google

qu'une ligne télégraphique ou téléphonique influencée s'étend très loin
égion où elle subit l'action des courants de tramway, on peut éviter le
ment du fil au delà de cette région à l'aide des translateurs, appareils
ues aux transformateurs et qui permettent de transmettre les commu-
ns entre deux lignes non reliées métalliquement.

**itation des dépenses nécessitées par les modifications des lignes télégra-
s ou téléphoniques.** — En Amérique et en Angleterre, il n'y a pas de
ole télégraphique, et la gêne causée par une compagnie de tramways
oitation d'une compagnie de téléphones donne lieu à des actions civiles
s résultats sont habituellement défavorables aux entreprises télépho-
Le juge américain n'admet pas en général que celles-ci aient un privi-
r le retour par la terre et, lorsqu'elles sont gênées par les courants des
ys, il estime avec quelque logique qu'elles doivent simplement rentrer
droit commun en employant des conducteurs de retour comme toutes
es industries électriques. Le juge anglais rejette également les réclama-
s compagnies téléphoniques lorsque rien n'est stipulé en leur faveur dans
» déclarant l'utilité publique du tramway : c'est la concession accordée
eprise de traction qu'il considère dans ce cas comme la mettant a priori
de tout recours civil, tant qu'elle ne sort pas des procédés admis et
les emploie d'une façon normale et raisonnable ; c'est une manière de
i paraîtrait singulière en France. Quant au règlement du Board of
l n'impose au concessionnaire d'autre obligation que d'intercaler dans ses
à la requête des autres compagnies, des bobines de self-induction pour
re les pulsations de courant ; cette mesure est généralement inefficace.
elgique, M. van Vloten estime qu'il serait injuste de réclamer en prin-
ntervention pécuniaire des compagnies de tramways en vue de l'établis-
du second fil, parce qu'une canalisation téléphonique à simple fil est
lète et que, d'autre part, les tramways constituent un service d'utilité
e plus important que les téléphones : par exemple, à Bruxelles, ces
s ont 3 000 abonnés, tandis que les tramways transportent journelle-
) 000 voyageurs.
partagerions volontiers cette manière de voir en ce qui concerne l'im-
n de la dépense du second fil, quand il devient nécessaire, en faisant
r en outre que les chaussées ont été faites, en définitive, pour les besoins
irculation et non pour ceux de la téléphonie, qui est le plus souvent
ège de quelques particuliers. Mais nous devons ajouter que l'état pros-
s compagnies de tramways électriques peut justifier dans bien des
leur part quelques sacrifices en faveur d'un autre service d'utilité
e moins fortuné, lorsque les perturbations causées par les tramways
ent des modifications trop lourdes pour ce dernier. En tout cas,
s déplacements de lignes existantes ou les modifications autres que
on d'un second fil constituent réellement des dommages dont les com-
téléphoniques ont le droit d'être indemnisées tout aussi bien et au
itre que des dépenses qu'elles sont obligées de faire pour des appareils
e ou des coupe-circuits.
probable qu'en France et en Allemagne, s'il n'y avait pas de monopole
nique, ces principes auraient prévalu et que les litiges auraient fait

Digitized by Google

l'objet de procès civils, où l'on eût apprécié dans chaque cas l'importance relative des services rendus par les deux industries et leurs ressources, pour partager entre elles le plus équitablement possible les frais des modifications nécessaires. Mais l'État, propriétaire des services télégraphiques et téléphoniques, a fait trancher la question législativement suivant un autre principe, plus simple et aussi, il faut le reconnaître, plus avantageux pour lui. D'après l'article de la loi du 25 juin 1895, mentionnée plus loin, tous les frais, souvent très élevés[1], résultant des déplacements ou des modifications de lignes télégraphiques *préexistantes*, que rendent nécessaires les perturbations causées par les conducteurs d'une ligne de traction établie postérieurement, sont à la charge du concessionnaire, et l'étendue de ces modifications est fixée par le Comité d'Électricité du ministère des Postes et Télégraphes. Mais, si des lignes télégraphiques ou téléphoniques viennent à être établies près d'une canalisation d'énergie préexistante, c'est évidemment à l'administration de prendre elle-même et à sa propre charge toutes les dispositions nécessaires pour éviter les pertubations. L'État ne prétend donc pas en France au monopole de la terre comme retour; la terre est seulement au premier occupant et c'est à celui qui vient troubler sa possession de l'indemniser des dommages causés. La question est traitée de même en Allemagne et en Suisse et ne donne lieu non plus à aucun recours devant les tribunaux.

Les demandeurs en concession peuvent donc en général se refuser à signer un engagement relatif à des lignes télégraphiques non existantes, et on ne pourrait le leur demander que par un véritable abus de pouvoir.

Quant à l'emploi des courants alternatifs, il crée pour les communications téléphoniques des difficultés exceptionnelles et sort ainsi des « conditions normales et raisonnables » de la jurisprudence anglaise qui viennent d'être mentionnées. Toutes les précautions spéciales que nécessite ce système en plus de celles qu'exigerait dans les mêmes conditions le système à courant continu devraient donc, en bonne justice, être mises à la charge du concessionnaire de tramways, quand bien même il serait le premier occupant. Il nous paraîtrait, par suite, équitable que l'autorisation d'employer les courants alternatifs ne fût accordée dans une concession qu'en échange du droit pour l'autorité concédante d'exiger une subvention éventuelle du concessionnaire lors de l'installation d'un réseau téléphonique ; cette subvention serait calculée de façon à compenser les frais supplémentaires qu'exigerait en certains points l'emploi de retours individuels et de conducteurs souterrains au lieu de conducteurs aériens.

## § 2. — Réglementation technique des installations de traction électrique

**Nécessité d'une réglementation générale.** — Les dangers que nous venons de passer en revue montrent la nécessité d'une régle-

[1] Par exemple, ils ont été de 10 000 fr. par km. à Marseille, 12 000 au Havre, 25 000 à Zürich.

Digitized by Google

:ation spéciale, qui compléterait utilement pour les installations
action électrique les prescriptions du cahier des charges type
août 1881, où elle n'avait pu être prévue.

tte réglementation existe déjà en partie à l'étranger, comme
ourra le constater par la lecture des règlements anglais et
ıand dont nous donnons plus loin la traduction en annexe.
rtaines parties de ces derniers, notamment les prescriptions
ves aux plaques de terre du règlement anglais, sont aujour-
en partie condamnées par l'expérience; d'autres, au contraire,
onné d'excellents résultats. L'administration française gagnera
à son retard de pouvoir formuler des règles plus mûries que
›vancières.

ır le moment, les distributions d'énergie des tramways sont
ises seulement en France à des décisions d'espèce inscrites
le cahier des charges ou prescrites par l'autorité chargée du
ɔle et aux conditions imposées par le ministre des Postes
légraphes, et bien souvent elles pâtissent de cette situation
ɜut les exposer à des exigences imprévues. L'intérêt des
.riels autant que du public réclame donc l'élaboration de
·iptions uniformes assez détaillées pour limiter d'une façon
›précise les obligations des concessionnaires.

**ɜmentation projetée en France.** — Un projet de loi sur les Distribu-
'énergie, préparé par M. *Guillain* et récemment déposé par le gouver-
, et que nous reproduisons plus loin [1], fera, s'il est voté, beaucoup
· cette question, en réglant en particulier la situation administrative
ɜaux électriques destinés à la traction.

ès cette loi projetée (art. 7, 8, 11,), la déclaration d'utilité publique
ı aux concessionnaires de tramways, outre le droit d'expropriation,
établir à demeure des supports pour conducteurs aériens à l'extérieur
·s ou façades donnant sur la voie publique, sans limitation de hauteur
ıi concerne les fils de service, et celui de faire passer des conducteurs
ıs ou au-dessous des propriétés privées, non encloses, suivant certaines
›ns. D'après les articles 9 et 10, les indemnités dues aux propriétaires
*présence permanente* des supports et des rosaces seront réglées par les
ıx administratifs, qui dès maintenant sont compétents pour l'évaluation
ımages résultant de la *pose* des conducteurs, considérée comme un

l'annexe n° 19 (p. 774). Le projet que nous reproduisons est celui de la
ion nommee par la Chambre. Pour plus de détails sur cette question, nous
s au remarquable rapport de M. Guillain, inspecteur général des ponts et
ɜ, député rapporteur.

accessoire de l'exécution d'un travail public. Les concessionnaires échapperont ainsi au bon plaisir des propriétaires riverains de leurs lignes, dont ils dépendent aujourd'hui, et auront affaire à une juridiction régulière et expéditive [1].

L'article 11 stipule que des règlements d'administration publique, rendus sur le rapport des ministres des Travaux Publics et de l'Intérieur, détermineront la forme des enquêtes, celle de l'instruction des projets et de leur approbation (les formes de l'homologation des tarifs et l'organisation du contrôle des entreprises de traction ne seront évidemment pas modifiées), les conditions générales et d'intérêt public auxquelles devront satisfaire les distributions tant pour leur construction que pour leur fonctionnement, les mesures relatives à la police et à la sécurité de leur exploitation. Ces règlements seront pris après avis technique du Comité d'Électricité institué près le ministre des Télégraphes par la loi du 25 juin 1895 [2].

En attendant cette réglementation, qui, grâce à la lenteur des délibérations, peut tarder encore bien des mois, il est nécessaire d'y suppléer du mieux qu'on peut en s'inspirant de l'esprit de la loi projetée.

C'est ce que nous essayerons de faire dans ce qui suit en nous guidant sur les idées contenues dans le rapport même de M. Guillain.

**Enquêtes.** — L'installation d'un tramway électrique devra faire l'objet de deux enquêtes : l'enquête d'utilité publique définie par le règlement d'administration publique du 18 mai 1881, qui ne porte que sur les dispositions générales de la concession, et une seconde enquête, qui s'appliquera au projet de détail des canalisations électriques et visera le passage et l'appui de ces conducteurs sur les immeubles privés. On pourrait réunir les deux enquêtes en une seule, mais il semble peu pratique de faire figurer les dispositions de détail dans le dossier de la première

[1] Ce droit de support, imité de celui accordé aux conducteurs télégraphiques par la loi du 28 juillet 1885, ne peut être accordé aux conducteurs d'énergie que par une loi nouvelle, car il a été jugé par le tribunal des conflits, le 13 décembre 1884, que, malgré le caractère de travaux publics qu'ils peuvent présenter, l'appui de fils électriques ne peut être imposé aux propriétés particulières que par une disposition explicite de ladite loi.

[2] Ce Comité, composé pour moitié d'industriels, a été créé dans le but de mettre l'industrie électrique en mesure de se défendre contre l'administration des Télégraphes, qui, non avertie par les intéressés, pourrait dépasser le but dans les prescriptions réglementaires au moyen desquelles elle cherche à protéger les transmissions télégraphiques et téléphoniques contre les troubles dont elles peuvent être affectées dans le voisinage des conducteurs d'énergie. Mais, comme la loi a prévu que ce Comité *pourrait* donner son avis sur toutes les questions qui lui seraient soumises, le ministre des Travaux Publics, au lieu de consulter directement les industriels comme le fait en Angleterre le Board of Trade, pourra, lorsqu'il le jugera bon, prendre l'avis du Comité d'Electricité par l'intermédiaire du ministre des Télégraphes. Il n'est jamais obligé de le faire, et généralement il confie à des commissions spéciales ressortissant de son ministère l'étude des questions relatives à la traction électrique.



Digitized by Google

e, qu'elles compliqueraient inutilement, et il vaut mieux
erver pour une enquête *de commodo et incommodo.*
me on le sait, l'utilité publique est déclarée et l'exécution
ée par décret délibéré en Conseil d'État, sur le rapport du
e des Travaux Publics, après avis du ministre de l'Inté-
a concession est accordée, suivant les cas, par une commune,
département ou par l'État.

**édés actuels de réglementation.** — Toute dérogation ou
au cahier des charges type de 1881 doit être expressément
e dans les traités passés au sujet de la concession, soumis
seil d'État et annexés au décret. Mais une semblable addi-
ésente deux inconvénients : elle complique et retarde
ction de l'affaire et l'examen par le Conseil d'État, qui
ulever des difficultés ; ensuite, toute modification aux dis-
s prévues exige un nouveau décret.
a donc bon de n'introduire dans ce cahier des charges que
es qui ont une influence sur les conditions d'établissement
dire celles qui sont relatives à la forme de l'énergie, à la
du courant, au mode de distribution et d'exploitation, à
de potentiel le long des voies de retour) et de recourir
reste de la réglementation, considéré comme affaire de
à un arrêté préfectoral qui sera prévu par le cahier des
et qui pourra toujours être remplacé par un autre le jour
progrès réalisés ou des connaissances nouvelles le ren-
désirable. C'est ainsi, du reste, que sont réglementés
ment les conditions particulières d'exploitation des tram-
l'installation et le fonctionnement sur les voies publiques
ducteurs d'énergie autres que ceux des entreprises de trac-

orité concédante peut, en outre, dans les conventions
mes, introduire certaines prescriptions générales relatives
riel électrique, notamment imposer que ce matériel soit
ent construit en France, pour favoriser notre industrie
e qui est parfaitement en mesure aujourd'hui de satisfaire
les exigences. On pourra avantageusement aussi repro-
ne clause de la concession du tramway d'Alger-Mus-



portant que, le jou
les accumulateurs ou de
par ce procédé aussi si
riens, le concessionna
concédante ou rétrocéd
système. Enfin, on a
avoir intérêt à faire e

*-projet.* — Lorsqu'il s'agit de
domaine public, la demand
cas au ministre des Travau
de la commune, doit être
1881, d'un avant-projet compo
extrait de carte à l'échelle de
plan général des voies publiq
cas de la traction électrique, c
traction des canalisations électr
profil en long à l'échelle de 1
conteurs ;
profils en travers types à l'éch
du matériel roulant (il y au
les supports et conducteurs,

à l'échelle de 0,005 m. pour
tramway (ce plan devra égal
des canalisations électriqu
mémoire descriptif indiquant le
elle entraînera, le tarif prop
sera affecté, le mode d'explicati
le maximum des déclivités, le
matériel roulant, les disposition
chemins publics et particuliers,
zone du tramway et la façade
ou l'arête extérieure de l'ac
la longueur et de la vitesse
qui seront mis chaque jour à la
traction électrique, ce mémoire,
en outre, à notre avis, définir le sys
des lignes, la tension du coura
matériel roulant).

*Exécution.* — Une fois la concession
correspondante définie soit par le c
arrêté pris aussitôt après la déclara

Digitized by Google

tapha, portant que, le jour où les progrès réalisés dans l'emploi des accumulateurs ou de tout autre système rendront la traction par ce procédé aussi sûre et aussi économique qu'avec les fils aériens, le concessionnaire devra, sur la demande de l'autorité concédante ou rétrocédante, remplacer ceux-ci par le nouveau système. Enfin, on a vu plus haut quelles réserves il peut y avoir intérêt à faire en faveur des installations téléphoniques.

*Avant-projet.* — Lorsqu'il s'agit de voies ferrées à établir sur les voies dépendant du domaine public, la demande de concession, qui doit être adressée suivant les cas au ministre des Travaux Publics, au préfet du département ou au maire de la commune, doit être accompagnée, aux termes du décret du 18 mai 1881, d'un avant-projet comportant les pièces suivantes :

1° Un extrait de carte à l'échelle de 1/80 000 ;

2° Un plan général des voies publiques empruntées, à l'échelle de 1/10 000 (dans le cas de la traction électrique, ce plan devra évidemment être complété par l'indication des canalisations électriques projetées) ;

3° Un profil en long à l'échelle de 1/5 000 pour les longueurs et de 1/1 000 pour les hauteurs ;

4° Des profils en travers types à l'échelle de 0,02 m. pour mètre indiquant le gabarit du matériel roulant (il y aura sans doute lieu d'y faire figurer en outre les supports et conducteurs, ainsi que l'appareil de prise de courant) ;

5° Un plan à l'échelle de 0,005 m. pour mètre de chacune des traverses suivies par le tramway (ce plan devra également être complété, croyons-nous, par l'indication des canalisations électriques) ;

6° Un mémoire descriptif indiquant le but et l'intérêt de l'entreprise, les dépenses qu'elle entraînera, le tarif proposé, le genre de service auquel le tramway sera affecté, le mode d'explication projeté, le minimum du rayon des courbes, le maximum des déclivités, le mode de traction, le maximum de largeur du matériel roulant, les dispositions proposées à l'effet de maintenir l'accès des chemins publics et particuliers, le minimum de distance qui sera laissé entre la zone du tramway et la façade des propriétés riveraines situées en rase campagne ou l'arête extérieure de l'accotement des voies publiques, le maximum de la longueur et de la vitesse des trains, le nombre minimum des trains qui seront mis chaque jour à la disposition du public (en ce qui concerne la traction électrique, ce mémoire, complété par des dessins, s'il y a lieu, devra en outre, à notre avis, définir le système de distribution, le mode de construction des lignes, la tension du courant, les dispositions caractéristique du matériel roulant).

*Projet d'exécution.* — Une fois la concession accordée et la réglementation technique correspondante définie soit par le cahier des charges, soit par un arrêté préfectoral pris aussitôt après la déclaration d'utilité publique, le tra-

Digitized by Google

ne peut être entrepris qu'avec l'autorisation de l'autorité compétente
née sur le vu du projet d'exécution.
elui-ci, qui est remis au préfet en double expédition, comprend ordinaire-
nt, en outre des pièces énumérées aux nos 1°, 2°, 3°, 4° et 5° ci-dessus,
nent complétées ou rectifiées d'après les résultats de l'instruction à laquelle
ant-projet aura été soumis :
° Des profils en travers à l'échelle de 0,005 m. pour mètre, relevés en tous
points intéressants du tracé;
° Un devis descriptif dans lequel sont résumées, sous forme de tableau, les
lications relatives aux déclivités et aux courbes;
° Un mémoire justifiant toutes les dispositions essentielles du projet[1].

*Prescriptions de la loi du 25 juin 1895.* — Il est nécessaire, en outre, pour
demande en concession et pour les projets d'exécution, de tenir compte des
positions de la loi du 25 juin 1895 (voir annexe n° 26, p. 820), relative à
tablissement des conducteurs d'énergie électrique, qui a pour objet de
otéger les transmissions télégraphiques ou téléphoniques.
D'après l'article 5 de cette loi, les projets d'installation ou de modification
s conducteurs d'énergie établis par les entreprises de services publics sou-
ises au contrôle de l'administration doivent, sauf lorsqu'ils concernent les
emins de fer ou les voies navigables, être soumis à l'approbation du ministre du
ommerce, de l'Industrie et des Postes et Télégraphes, après examen en confé-
nce par les services intéressés. Les prescriptions techniques que peut exiger
protection des transmissions télégraphiques et téléphoniques sont donc
abord discutées entre le service du contrôle et les agents des télégraphes,
uis entre le ministre des Télégraphes et celui qui représente l'autorité con-
édante (ministre des Travaux Publics ou ministre de l'Intérieur suivant le cas).
e ministre des Télégraphes donne son adhésion avec ou sans réserves au pro-
et en ce qui concerne ses lignes (après avoir consulté le Comité d'Électricité
ui défend contre son administration les intérêts industriels) et son collègue
ient compte de cette adhésion et de ces réserves dans la décision d'ordre plus
énéral qu'il prend ensuite comme maître de l'ouvrage.
Pour les projets d'exécution qui ne sont pas soumis à un ministre, le
ninistre des Postes et Télégraphes donne, après l'examen en conférence, ses ins-
ructions en ce qui concerne la protection de ses lignes au préfet, chef du con-
rôle, qui en tient compte dans son arrêté d'approbation.
Cette procédure est longue par excès de centralisation. Il est peu rationnel

[1] On devra se conformer, dans la rédaction de toutes ces pièces, aux prescriptions du décret du 6 août 1881 sur l'établissement et l'exploitation des voies ferrées sur le sol des voies publiques.
Il nous paraîtrait nécessaire de joindre au projet, en ce qui concerne la partie électrique, des renseignements justifiant les puissances choisies pour les diverses parties de l'installation et des indications analogues à celles qu'exige l'arrêté préfectoral du 15 septembre 1893. L'état des renseignements à fournir pourrait donc être plus ou moins semblable à celui que nous donnons plus loin dans un projet de réglementation spéciale.
Le projet d'exécution est remis en double expédition ; on y joindra une troisième expédition partielle des dispositions des canalisations électriques, afin qu'elles puissent être soumises séparément à l'administration des postes et télégraphes.

Digitized by Google

que l'administration centrale des postes et télégraphes évoque ainsi les projets de canalisations électriques présentés par le concessionnaire et il serait beaucoup plus simple qu'elle délègue au préfet, comme les autres administrations, le soin d'appliquer sur l'avis technique des agents locaux un règlement élaboré une fois pour toutes. Ce sera un des avantages de la loi projetée de faire adopter cette procédure plus rapide, tout en maintenant le droit de recours simultané aux deux ministres.

*Exécution des travaux et exploitation.* — Après l'examen du projet d'exécution, on sait que le préfet renvoie au concessionnaire l'une des expéditions de ce projet revêtue de son approbation. Le concessionnaire ne peut commencer les travaux qu'après avoir reçu l'avis écrit de cettte approbation.

Les modifications ou extensions que proposerait ensuite le concessionnaire ne pourront être exécutées qu'avec l'approbation de l'autorité qui a revêtu de sa sanction les dispositions à modifier ; de son côté, l'administration pourra ordonner d'office et sans indemnité les modifications dont l'expérience ou des changements à opérer sur la voie publique feraient reconnaître la nécessité.

La surveillance des travaux, les essais de réception et le récolement pourront être réglés ainsi qu'il est prévu par l'arrêté du 15 septembre 1893 pour les autres canalisations d'énergie. La surveillance de l'exploitation sera seulement plus complexe, car elle devra prévenir les inconvénients du retour par les rails (accidents d'électrolyse, etc.) et assurer la sécurité à l'intérieur des voitures et le bon fonctionnement de l'exploitation comme service public.

**Principales prescriptions à introduire dans le cahier des charges ou l'arrêté préfectoral.** — Quel que soit le procédé de réglementation adopté, nous pouvons déduire des considérations des paragraphes précédents les règles techniques qui nous paraissent devoir être insérées dans un cahier de charges ou un arrêté préfectoral relatif à un tramway électrique. Sans insister sur cette distinction d'ordre purement administratif, nous donnons ci-dessous pour préciser les idées un projet complet de règlement. On y trouvera plusieurs dispositions inspirées des règlements anglais et allemand donnés en annexes, comme aussi des prescriptions de l'administration française des télégraphes et de l'arrêté préfectoral du 15 septembre 1893 auquel nous empruntons les articles applicables utilement aux canalisations de traction [1].

---

[1] On ne peut se contenter de renvoyer à cet arrêté, car son article 1er dit explicitement qu'il ne s'applique pas aux conducteurs d'énergie destinés à la traction des trains de chemins de fer ou de tramways ou des bateaux.

Digitized by Google

## ROJET DE RÉGLEMENTATION SPÉCIALE

D'UNE

# TATION DE TRAMWAYS ÉLECTRIQUES

A FILS AÉRIENS (OU A ALIMENTATION MIXTE)

*: dans le cahier des charges ou dans un arrêté préfectoral*

---

### 'TIONS ADMINISTRATIVES RELATIVES AUX INSTALLATIONS FIXES ET AU MATÉRIEL ROULANT ÉLECTRIQUES

**xécution de l'installation électrique.** — Avant d'entreprendre our l'établissement de la canalisation et de l'usine électriques. ire doit produire un projet d'exécution de la partie électrique , qui sera adressé au préfet en double expédition, comme le ion prévu par le décret du 6 août 1881. Ce projet pourra, par rendre les pièces et renseignements énumérés ci-après [1] :

*et renseignements relatifs à la partie électrique de l'installation à joindre au projet d'exécution.*

*roulant* [2]. — Description et dessins sommaires des voitures, apacité et leur poids. — Description sommaire des moteurs, indi- s et leur puissance; justification de cette puissance d'après les arcours. — Vitesses prévues sur différentes rampes. — Vitesse rche. — Accélération au démarrage. — Intensité de courant euvent supporter les moteurs. — Mode de régulation. — Des- ire des régulateurs, de la prise de courant et des appareils de tures.

nulateurs; capacité utilisable; puissance maxima admise à la lécharge; poids de la batterie; régime maximum. — Emplace- e manutention de la batterie; dispositifs prévus pour mettre les i des écoulements d'acide et des dégagements de gaz tonnants.

*ons.* — Plans de détail des canalisations à l'échelle de 1/500. et longueur des voies publiques empruntées par les canalisa-

nseignements a pour but principal de guider les concessionnaires dans émoire descriptif; il n'implique pas l'obligation pour lui de les fournir lministration la responsabilité d'approuver en détail les dispositions ngénieurs du contrôle apprécieront dans chaque cas ceux qu'ils croient indications du 4e devront cependant être fournies dans tous les cas le la loi du 25 juin 1895.

détails, voir la spécification détaillée du chapitre XI (t. II, p. 420).

Digitized by Google

tions électriques, en particulier dans les lieux habités, en distinguant les canalisations aériennes et souterraines, les conducteurs nus et recouverts.

Système de distribution. — Disposition des conducteurs et des feeders. — Tension électrique de distribution. — (Tension sur les feeders, quand il s'agit d'une distribution avec transformation.) — Spécification des fils de travail : diamètre, nature du métal, résistivité électrique et résistance mécanique. — Densité maxima du courant dans les fils.

Mode d'attache, de suspension et d'isolement des fils de travail ; types de pinces et d'isolateurs. — Espacement des supports ; type et nature des supports, avec dessins détaillés.

(Emplacement et mode d'attache des feeders aériens, s'il y en a ; section et résistivité ; densité de courant.)

Calcul sommaire de la fatigue mécanique des fils de service, après usure de 10 p. 100 de la section, dans l'hypothèse d'un vent violent donnant un effort de 250 kg. par m² et d'un abaissement de température de 20° C. au-dessous de la température de pose.

Calcul sommaire de la fatigue correspondante des isolateurs et des supports, supposés soumis eux-mêmes au vent, en tenant compte des haubans, s'il y en a.

Résistance d'isolement prévue pour la ligne aérienne.

Emplacement et pose des feeders souterrains d'aller et de retour.

Spécification de ces feeders, avec coupe donnant le diamètre de l'âme et les épaisseurs des diverses couches isolantes (dont on indiquera la nature) et des enveloppes protectrices.

Intensité de courant prévue dans chaque feeder ; densité de courant correspondante. — Section et résistivité du métal de l'âme. — Résistance d'isolement prévue pour les feeders d'aller et ceux de retour.

Disposition des boîtes de raccord ou de branchement et des regards.

Mode de sectionnement des canalisations ; emplacement probable des interrupteurs ; emplacement et disposition des appareils de sécurité : parafoudres, disjoncteurs, coupe-circuits ; courant maximum pour lequel ils seront réglés.

(Dans le cas d'une transformation de courant, mêmes indications pour le réseau primaire que pour une distribution d'énergie quelconque.)

Section et résistivité des rails servant au retour du courant. — Nombre, dispositif, section et résistance calculée des jonctions entre rails et des jonctions transversales.

Résistance calculée de la voie par kilomètre. — Moyens prévus par le concessionnaire et devant être mis à la disposition du contrôle pour les vérifications de tension, courant, voltage, chute de potentiel, etc., et toutes autres vérifications qu'il peut y avoir lieu d'effectuer conformément aux articles ci-dessous.

3° *Justification sommaire de l'installation.* — Calcul du courant moyen absorbé par voiture ; dépense d'énergie correspondante. — Calcul sommaire de la chute de potentiel maxima le long des conducteurs de service et des feeders, et le long des voies et feeders de retour ; hypothèses faites sur la répartition des voitures. — Courants maxima dans les conducteurs et feeders, en prévoyant une charge supplémentaire les jours de fête en certains points du réseau.

Digitized by Google

›sitions prévues pour ramener la différence de potentiel sur les voies
ur dans les limites fixées par le présent règlement (feeders, sous-vol-
:tc.).
ıl sommaire de la puissance moyenne et de la puissance maxima four-
r l'usine, en faisant diverses hypothèses sur l'activité de la circulation.
s de machines et de chaudières; surcharge qu'elles peuvent supporter;
e régulation de la vitesse.

*ignes télégraphiques et téléphoniques ou autres canalisations voisines
ıway.* — Indiquer les sections où les conducteurs aériens du tramway
établis à moins de 10 m. en projection horizontale d'une ligne télé-
que ou téléphonique aérienne ; écartement minimum prévu.
uer les sections du tracé où cet écartement descend au-dessous de 2 m.
s conducteurs parallèles, ainsi que les points de croisement avec des
teurs non parallèles.
ıutions prises pour éviter les contacts éventuels entre les deux espèces
lucteurs dans ces sections ou en ces points.
uer les sections où les conducteurs souterrains du tramway seront à
de 1 m. en projection horizontale d'une conduite télégraphique ou
nique souterraine, et spécifier l'écartement minimum prévu, de même
ur les points de croisement des conducteurs souterrains du tramway
s conduites télégraphiques ou téléphoniques; indiquer les précau-
péciales prises pour éviter les dérivations au droit des points pour
s l'écartement est inférieur à 0,50 m.
uer les précautions prévues pour parer aux effets d'induction sur les
élégraphiques et téléphoniques.
ner les points où les rails ou les conducteurs souterrains du tram-
ont à moins de 0,50 m. de conduites ou de masses métalliques sou-
s et les précautions prises pour empêcher tout contact et réduire les
ions en ces points.
uer les parties du tracé où les rails ou les conducteurs souterrains seront
es à des conduites ou masses métalliques; indiquer l'écartement
et l'écartement minimum et les précautions prises pour réduire autant
sible les dérivations vers ces conduites.

**écution des travaux de premier établissement** [1]. — Le concessionnaire
t commencer les travaux de canalisation électrique qu'après avoir
avis écrit de l'approbation du projet d'exécution mentionné à l'article
ent. Il doit, au moins huit jours à l'avance, prévenir les agents du con-
e la date à laquelle les travaux seront commencés, afin que le tracé en
ifié. Il doit également les prévenir de leur achèvement en vue de leur
ıent.

**cuments à produire après l'exécution des travaux.** — Un mois au plus
achèvement de chaque section du réseau, le concessionnaire remettra

paragraphe et les trois suivants reproduisent sensiblement des articles de
du 15 septembre 1893.



ervice du contrôle en doub
rmes à l'exécution, indiq
nceurs et leurs accessoir
ehce, le tracé de la canalisa
ıes et détails de constructio
ıquer les lignes ou condu
ques voisines et leur de
ıes de canalisation dont la di
m. Une note explicative i
ssance électrique, la sectio
ssionnaire ne s'est pas conf
ıe, ou si les plans et docume
ıis en demeure de faire le
ours.
ıse ce nouveau délai, le préfe
proceder à l'établissement d'o
ıs du concessionnaire.

**Essais.** — Des essais d'isolemen
ıes qui seraient prescrits par le
doivent être faits avant toute
ence de l'ingénieur du contrôle
ıtés sur des procès-verbaux ce
ıeur ou son délégué.

**Mise en service.** — Les cond
après notification par le préfet a
ement comme en matière de voi
ıédiés, dans le cas où, à la suit
ıistrible et celui des Postes et T
ıet au préfet d'autoriser la mise en
ıe ils pourront délivrer au conc
ıt de leurs signatures, en vertu de
ıe les conducteurs à ses risques et
ıent annulée de plein droit par
ıent d'approuver les conclusions du

**Récolement.** — Le récolement por
ıeur et emplacement des câbles e
ıspositions prises avec l'arrêté d'au
ıche et section des conducteurs;
ıposition des appareils destinés au

ıistance d'isolement du réseau aérien
ıence maxima de potentiel aux bor
ıistance des voies de retour; chute de
ıposition des appareils prévus pour le

Digitized by Google

au service du contrôle en double expédition un plan et des profils exactement conformes à l'exécution, indiquant, avec les cotes nécessaires pour repérer les conducteurs et leurs accessoires par rapport à des points déterminés de la surface, le tracé de la canalisation en plan, son profil en long, ainsi que les coupes et détails de construction. Sur le plan et les profils, le concessionnaire doit indiquer les lignes ou conduites télégraphiques et téléphoniques, les masses métalliques voisines et leur destination et marquer par un liséré coloré les parties de canalisation dont la distance à ces masses métalliques est inférieure à 0,50 m. Une note explicative indiquera les données électriques du courant, la résistance électrique, la section et l'isolement de chaque conducteur. Si le concessionnaire ne s'est pas conformé à ces prescriptions dans le délai d'un mois, ou si les plans et documents produits sont inexacts ou incomplets, il sera mis en demeure de faire le nécessaire dans un délai supplémentaire de quinze jours.

Passé ce nouveau délai, le préfet fera constater la non-exécution et pourra faire procéder à l'établissement d'office des plans et documents ci-dessus définis, aux frais du concessionnaire.

4. **Essais.** — Des essais d'isolement, de résistance de potentiel, etc., ou tous autres qui seraient prescrits par le contrôle en exécution des articles 51-52 ci-après doivent être faits avant toute mise en service par le concessionnaire, en présence de l'ingénieur du contrôle ou de son délégué ; les résultats en sont consignés sur des procès-verbaux certifiés par le concessionnaire et visés par l'ingénieur ou son délégué.

5. **Mise en service.** — Les conducteurs ne peuvent être mis en service qu'après notification par le préfet au concessionnaire d'un procès-verbal de récolement comme en matière de voirie.

Toutefois, dans le cas où, à la suite des essais et du récolement, le service du contrôle et celui des Postes et Télégraphes seraient d'accord pour proposer au préfet d'autoriser la mise en service des conducteurs d'énergie électrique, ils pourront délivrer au concessionnaire une autorisation provisoire revêtue de leurs signatures, en vertu de laquelle il aura la faculté de mettre en service les conducteurs à ses risques et périls. Cette autorisation provisoire se trouverait annulée de plein droit par la notification d'un arrêté préfectoral refusant d'approuver les conclusions du procès-verbal de récolement.

6. **Récolement.** — Le récolement portera sur les points suivants :

Longueur et emplacement des câbles et feeders ; vérification de la conformité des dispositions prises avec l'arrêté d'autorisation ;

Flèche et section des conducteurs ;

Disposition des appareils destinés au tronçonnement et à la protection du réseau ;

Résistance d'isolement du réseau aérien et du réseau souterrain ;

Différence maxima de potentiel aux bornes des génératrices ;

Résistance des voies de retour ; chute de potentiel le long du retour ;

Disposition des appareils prévus pour le contrôle.

Digitized by Google

— PRESCRIPTIONS TECHNIQUES RELATIVES AU MATÉRIEL ROULANT[1]

**mposition des trains.** — Les trains se composeront d'automobiles et ıres remorquées. Ils comprendront au plus — voitures, pesant au plus es, et leur longueur totale ne dépassera pas — mètres[2].

**ıitures motrices.** — Les voitures motrices seront actionnées par des s électriques contenus dans le truck et inaccessibles aux voyageurs, ıe que leur transmission. Ces moteurs devront autant que possible être ıux. Ils seront établis de façon à pouvoir fournir sans échauffement eux les plus grands efforts de traction prévus pour le service de la ligne ɔuvoir remorquer d'une façon continue une charge double de celle pré- emi-vitesse. Aucune partie du mécanisme moteur ne devra être à moins 3 m. de la surface de la chaussée.

appareils de prise de courant (trôlet, archet, soc, frotteur, etc.) devront ɔrs de la portée du public, ainsi que toutes les parties du circuit élec- des voitures. Les enveloppes de tous les organes seront mises en com- ıtion métallique avec le truck de façon à ne pouvoir jamais prendre un iel dangereux.

ɜ les conducteurs électriques seront formés de câbles flexibles isolés de ɔn la plus parfaite par des enveloppes protectrices, imperméables et à de toute dégradation qui puisse mettre les fils à nu. Ils seront protégés façon spéciale au voisinage des parties métalliques de la voiture. Ils , de section suffisante par rapport au courant qu'ils ont à supporter qu'aucun échauffement dangereux ne soit à craindre. Ils seront protégés ɜs coupe-circuits ou disjoncteurs proportionnés de façon à couper le cir- ıvant que le courant ait pu prendre une valeur susceptible d'élever la ɜrature de ces conducteurs d'une façon nuisible. Chaque voiture portera, tre, un parafoudre d'un type éprouvé.

appareils de sécurité, ainsi que les régulateurs, ne devront pouvoir ɜr lieu à aucun arc persistant ; ils devront être placés au dehors des ɜes et de manière à ne pouvoir projeter de métal fondu sur les voyageurs. mécanicien devra être isolé du public. Chaque plate-forme (dans les voi- symétriques) sera munie d'un interrupteur de sûreté à l'abri de toute œuvres intempestive, mais facilement accessible au mécanicien, et d'un ateur de marche que celui-ci seul aura la possibilité de manœuvrer. Elle disposée de manière à donner au mécanicien la vue la plus étendue sur ıie tout en le protégeant autant que possible contre le vent et les intem- ɜs.

es règles sommaires que nous indiquons pour le matériel roulant nous parais- suffisantes. On en trouvera de plus détaillées dans l'Ordonnance générale de e du 31 août 1897 (annexe n° 27).

ıux termes de l'article 30 du règlement d'administration publique du 6 août 1881, ɔngueur des trains sur les lignes de tramways à traction mécanique ne peut ucun cas dépasser 60 mètres.

Digitized by Google

Des dispositifs spéciaux seront mis à portée du receve d'arrêter la voiture sans le secours du mécanicien en ca

**9. Voitures d'attelage.** — Les voitures d'attelage de moyen de deux systèmes d'attache, dont l'un rigide av

**10. Sécurité des voyageurs.** — Les voitures devront c accès et une sortie faciles et seulement par la plate-forn munies de tous les dispositifs nécessaires pour assurer la aussi bien pendant leur montée ou leur descente que p

Elles seront toutes pourvues de garde-roues. Les aut outre à l'avant un appareil protecteur.

**11. Freins.** — Chaque train sera muni des deux sys freins, dont l'un au moins sera un système continu app du train et assurant le freinage simultané de tous les véh qui devra être employé en temps normal.

Le second système, qui servira de frein de secours, une partie seulement des essieux ; il devra être assez pui lancé à la vitesse de 20 km. à l'heure sur une pente d puisse être arrêté sans le secours des freins continus su Sur les pentes plus fortes que 0,020, la vitesse, dans habités, devra être réduite de façon que le parcours ce chiffre.

Les voitures seront pourvues des moyens nécessaires ment sur les rails à une valeur telle que les conditic soient toujours remplies.

**12. Signaux.** — Pour mémoire. — (Voir le décret d

**13. Vitesse des voitures.** — La vitesse des voiture publiques empruntées ne devra pas dépasser les lim sera fixée après essais par un arrêté préfectoral ultéri

Désignation des rues . . . . . .

Des ralentissements à la vitesse du pas devront en passages suivants : . . . . . .

Des arrêts devront être faits aux points suivants :

**14. Indicateurs de vitesse.** — Sur la demande du con de voitures motrices devront être munies d'enregistreu de vérifier que les limites fixées sont fidèlement obser

## III. — Prescriptions techniques relatives aux c

**15. Forme de l'énergie.** — L'énergie devra être déli rant continu non pulsatoire. Tout emploi par le c

Digitized by Google

orme de courants alternatifs devra faire l'objet d'une autorisation spéciale, e pourra lui être accordée qu'en échange de l'engagement de verser uellement à l'administration des Postes et Télégraphes une subvention ınte pour couvrir les frais de doublement individuel des lignes téléphos qu'elle pourrait être amenée à installer au voisinage des conducteurs ·gie, lorsque ces derniers seront aériens.

**Tension du courant.** — La tension maxima admise entre la terre et les ı feeders nus est de 600 volts en courant continu ou 120 volts en cou- alternatifs dans les lieux habités, et de 750 ou 250 volts respective- en dehors des lieux habités[1]. Cette tension ne doit être dépassée ni les conducteurs placés sur le même support, ni entre ces conducteurs terre.

nt aux feeders, s'ils sont disposés de façon à ne pouvoir venir en con- ccidentel avec le fil de service, ils pourront présenter des tensions plus s entre fils, à la condition que les supports qui permettraient d'atteindre calade les fils dangereux soient garnis de ronce artificielle ou de piquant criteaux protecteurs.

### A. — *Conducteurs aériens.*

**Emploi des conducteurs aériens.** — L'emploi des fils de service aériens est sé sur les parties du parcours ci-après : . . . . . tout ailleurs, ces fils devront être remplacés par des conducteurs sou- ıs (ou des accumulateurs).

feeders venant de l'usine seront souterrains et reliés à la ligne aérienne ntérieur des poteaux. L'emploi de feeders aériens sera toléré exception- ıent sur les parties du parcours ci-après : . . . . . .

**Supports.** — Les supports des fils aériens seront constitués soit par des ıx établis sur la voie publique, soit par des rosaces fixées à l'extérieur urs ou façades des maisons donnant sur la voie publique et hors de la des habitants. Aucun de ces supports ne sera établi sans l'approbation ble de l'autorité compétente. La distance entre deux supports ne saurait ıpérieure à 40 m., à moins d'autorisation spéciale.

orme et la disposition des supports devront être préalablement approu- ar l'administration après production des calculs de résistance.

**Isolateurs.** — Les fils de contact seront solidement supportés par des montées sur des isolateurs d'un type convenable. Ils devront être pour- un double isolement, c'est-à-dire qu'il devra y avoir entre le fil et le rt au moins deux organes isolants en série.

feeders aériens, là où ils sont autorisés, seront également placés sur

s premiers chiffres sont ceux admis par le Comité d'Électricité du ministère des et Télégraphes; mais, comme nous l'avons expliqué plus haut (p. 582), le e des Travaux Publics pourra autoriser des limites plus élevées pour les tions non urbaines.

Digitized by Google

des isolateurs dont l'écartement ne pourra dépasser la limite indiquée ci-dessus.

**20. Hauteur des fils.** — La hauteur des fils de travail et des feeders aériens au-dessus du niveau de la chaussée sera au minimum de 6 m. [1].

Ils doivent être dans tous les cas hors de la portée du public et des habitants des maisons riveraines.

Les feeders devront être placés à 1 m. au moins des façades et à 0,50 m. au moins au-dessus des fenêtres les plus élevées; s'ils passent au-dessus d'un toit, ils devront en être écartés de 2,50 m. au moins.

**21. Résistance mécanique.** — Les conducteurs devront offrir une résistance à la traction suffisante pour qu'il n'y ait aucun danger de rupture sous l'action des efforts qu'ils ont à supporter. Ces efforts proviennent, en négligeant la pression de la roulette, du poids du fil, du verglas qui peut s'y attacher, du vent et de l'abaissement de la température. Pour assurer un minimum de résistance, les fils de service ne pourront avoir moins de 0,005 m. de diamètre.

Les poteaux devront offrir une résistance suffisante aux efforts de traction exercés par les fils et à l'action du vent, en tenant compte, s'il y a lieu, de la résistance additionnelle des haubans.

**22. Protection contre la chute des fils.** — Des dispositions devront être prises pour que la rupture et la chute des fils aériens n'entraînent pas de dangers sérieux pour la sécurité publique. En outre, chaque feeder devra être muni à l'usine d'un disjoncteur automatique.

**23. Isolement des fils aériens.** — La résistance d'isolement entre la terre ou les masses métalliques (en particulier les ponts) et les conducteurs aériens ne devra pas descendre au-dessous de 0,5 mégohm par kilomètre [2].

**24. Tronçonnement du réseau.** — Pour faciliter la mise hors circuit des conducteurs à un moment donné, on devra sectionner les fils aériens en tronçons de 500 m. de longueur au plus dans les lieux habités et 2 000 m. en dehors des lieux habités, séparés par des isolateurs et réunis par des interrupteurs; on placera également des interrupteurs aux points de branchement de la ligne et aux croisements de rues; l'emplacement de ces appareils sera fixé d'accord avec l'administration.

Ces interrupteurs, complétés par des coupe-circuits de section appropriée, seront disposés dans des boites fermées, placées hors de la portée du public contre des poteaux ou contre la façade des maison. Des clefs de ces boites seront remises par le concessionnaire à ses agents ainsi qu'aux agents de police et aux pompiers [3].

[1] Hauteur généralement admise en Europe et en Amérique et sanctionnée par le règlement anglais et par l'arrêté du 15 septembre 1893.

[2] Chiffre proposé d'après les résultats d'expérience, pour les climats favorables. Dans les villes industrielles à fumées abondantes ou sous les climats humides, ce chiffre devrait être abaissé à 250 000 ohms.

[3] Article inspiré du règlement de la ville de Berlin et des règlements anglais.

Digitized by Google

**on contre la foudre.** — Toute l'installation sera protégée contre es parafoudres placés à l'entrée de la station et sur les poteaux qui ne pourront excéder 1 000 m. en dehors de la ville ni 2 000 m.

es parafoudres et la disposition des prises de terre devront être l'administration. Les terres seront formées de puits à coke avec ou de plaques de cuivre d'au moins 0,5 m² de surface enfouies eur minima de 1 m. dans le sol et éloignées d'au moins 1 m. de ialisation. La résistance de passage entre chacune de ces plaques une conduite métallique voisine ne devra pas excéder 10 ohms. tration l'autorise, ces prises de terre pourront être remplacées jonctions avec les rails de la voie de roulement.

**on des lignes aériennes préexistantes appartenant soit à des État.** — Dans tous les cas, la distance entre les conducteurs mway et les lignes aériennes préexistantes, appartenant soit à es tiers, ne devra pas être inférieure à 1 m. Cette distance sera lorsque les fils seront parallèles à la ligne, à moins que les con- amway soient disposés de manière à éviter tout contact[1].
le croisement, tout contact éventuel entre les conducteurs du s lignes préexistantes sera empêché à l'aide d'un dispositif de ts, boucles, etc.) approuvé par le contrôle et en outre, s'il s'agit raphiques ou téléphoniques, par l'administration des Postes et

**on supplémentaire des lignes télégraphiques et téléphoniques l'État[2].** — Si les conducteurs du tramway présentent des vol- supérieurs à 120 volts alternatifs ou 600 volts continus, les dis- à l'article précédent pourront être complétés sur les lignes ou téléphoniques appartenant à l'État, si l'administration des raphes le juge nécessaire, par des coupe-circuits spéciaux qu'elle rais du concessionnaire sur les fils télégraphiques ou téléphoiés.
ration vient à établir ultérieurement des lignes télégraphiques es croisant les conducteurs d'énergie électrique aériens, les frais nesures de précaution indiquées à l'article 27 seront remboursés ation au concessionnaire, qui sera tenu de les exécuter.
ons des lignes aériennes devront être soumises à l'approbation ation des Postes et Télégraphes en ce qui concerne la protection graphiques ou téléphoniques.

prescrites par l'administration des Postes et Télégraphes.

s de l'administration des Postes et Télégraphes.
ns que des lignes appartenant à l'État parce qu'elles jouissent d'une giée. Les lignes privées doivent se protéger elles-mêmes ; si les pré- icle précédent ne paraissent pas suffisantes à leurs propriétaires et ésés dans leurs intérêts par les risques qu'elles courent ou les pertur- subissent, ils ont toujours un recours ouvert contre la compagnie de t les tribunaux civils.

Digitized by Google

**28. Voisinage des poudreries et poudrières.** — Aucun conducteur d'énergie aérien ne pourra être établi à moins de 20 m. des points dangereux d'une poudrerie ou d'un magasin à poudre, à munitions ou à explosifs (10 m. pour un conducteur souterrain)[1].

## B. — *Conducteurs souterrains*

**29. Feeders souterrains de la ligne aérienne.** — Les feeders destinés à l'alimentation de la ligne aérienne seront en général des câbles isolés et armés[2] placés directement dans le sol, sauf dans les cas exceptionnels où le concessionnaire serait autorisé à employer d'autres dispositions.

**30. Position des câbles.** — Ces câbles seront placés sous les trottoirs, sauf autorisation contraire, et à une profondeur d'au moins 0,50 m. au-dessous de la surface. Ils seront noyés dans une couche de sable d'au moins 0, 25 m. d'épaisseur.

Ils seront protégés à leur partie supérieure et à 0, 25 m. au moins au-dessous du sol par un grillage métallique en fer galvanisé ou par un lit de tuiles faîtières placé dans la fouille.

**31. Isolement par rapport aux autres canalisations.** — Ces câbles devront être placés à une distance minima de 0, 50 m. des autres canalisations parallèles d'eau, de gaz, d'électricité, etc., situées sous la chaussée. Aux points de croisement, cette distance pourra être réduite à 0,30 m.

Exceptionnellement, ces distances pourront être abaissées avec l'autorisation du service de la voirie, qui prescrira, s'il y a lieu, en ces points l'emploi de cloisons ou de tuyaux en poterie pour mieux assurer l'isolement des câbles entre eux.

**32. Protection des lignes télégraphiques et téléphoniques appartenant à l'État**[3]. — La distance entre les feeders et les câbles télégraphiques ou téléphoniques souterrains appartenant à l'État devra être d'au moins 1 m. en projection horizontale, lorsque les conducteurs suivront une direction commune, et de 0,50 m. aux points de croisement, à moins que la canalisation ne présente en ces points les mêmes garanties au point de vue de la sécurité publique, de l'induction et des dérivations que les câbles concentriques ou cordés, placés sous enveloppe de plomb et armés.

**33. Traversée des voies publiques.** — A la traversée des voies publiques, les câbles devront être placés dans des tuyaux en fonte ou en poterie, noyés dans

[1] Pour plus de détails sur la réglementation spéciale relative aux poudrières, voir le rapport de M. Violle à l'Académie des Sciences, *Comptes Rendus*, 31 mai 1897. Les points dangereux sont définis par le ministre de la Guerre.

[2] Prescription conforme à l'usage et aussi à l'esprit de l'arrêté du 15 septembre 1893, auquel sont empruntées en partie les règles 30, 31, 33, 34, 36. Sur les ponts métalliques, on doit exiger également des câbles armés.

[3] Prescriptions de l'administration des Postes et Télégraphes.

Digitized by Google

ı chaussée et disposés de façon qu'il soit possible de visiter et de remplacer ɜs conducteurs sans pratiquer de fouilles dans la chaussée.

Exceptionnellement les câbles armés, d'une bonne fabrication, pourront être lacés directement en terre suivant les règles précédentes, en vertu d'une au-orisation spéciale.

**34. Regards.** — Les feeders souterrains seront munis à leurs points d'aboutisse-ıent, de croisement ou de branchement de boîtes étanches en fonte pourvues e regards et dont la plus grande longueur sera parallèle à l'axe de la chaus-ɜe. Ces regards ne devront contenir ni autres canalisations (de gaz, d'eau, .c.), ni conducteurs d'électricité appartenant à une autre exploitation. Pour ɜiter les accidents dus à des accumulations de gaz, ils seront mis à l'abri de humidité et disposés de manière à pouvoir être ventilés ; le concessionnaire ɜvra disposer des moyens nécessaires pour cette opération. Les tampons des ɜgards devront être isolés des conducteurs et mis à la terre. Les boîtes rminales des feeders d'aller et de retour pourront être communes aux deux ɜstèmes.

**35. Appareils de sûreté.** — A tous les points d'aboutissement ou de croisement ɜs feeders devront être disposés des interrupteurs facilement accessibles. haque feeder sera protégé d'autre part à son point de départ de la station par ı interrupteur et un coupe-circuit ou disjoncteur.

**36. Isolement.** — La résistance d'isolement des feeders devra satisfaire à la gle $R = 5u^2$, c'est-à-dire que la résistance entre l'âme de ce feeder et la terre, primée en ohms, devra être égale à au moins 5 fois le carré du nombre de lts qui définit la tension de distribution entre les pôles de la génératrice.

## C. — *Retour par les rails.*

**37. Continuité électrique des voies.** — Les voies devront présenter la ɜntinuité électrique la plus parfaite possible. A cet effet, les rails seront, ı droit de chaque joint, munis de jonctions métalliques convenables, au oins doubles et présentant la plus faible résistance possible. Chaque file de il sera reliée à l'autre file de la même voie tous les 30 m. au moins par des nctions de résistance équivalente à celle des jonctions entre rails. De plus, r les lignes à double voie, les deux voies seront elles-mêmes reliées tous s 100 m. au moins par des jonctions de résistance équivalente aux pré-dentes. Tous les fils ou câbles de jonction destinés à assurer la continuité ɜ la voie et ceux qu'on pourrait ajouter parallèlement à celle-ci pour aug-enter la conductance du retour auront au moins 8 mm. de diamètre ; s'ils nt en cuivre, ils ne devront pas supporter plus de 2 amp. par mm²; ils ɜurront être soit nus, soit recouverts, et seront dans les deux cas noyés dans chaussée.

Ces jonctions devront être aussi durables et aussi constantes comme conduc-ɜilité que possible.

Digitized by Google

**38. Jonctions des voies à l'usine.** — Les voies seront reliées électriquement aux boites d'aboutissement des feeders de retour, disposées sous les trottoirs, par des câbles nus ou isolés, également noyés dans la chaussée.

L'emploi de toute plaque de terre, soit sur la voie, soit à la station, est interdit. Il est recommandé au contraire d'isoler dans la mesure du possible les rails de la terre humide qui supporte la chaussée.

**39. Indépendance des voies par rapport aux autres masses métalliques.** — Les voies de retour, dans les parties où le retour se fait par les, rails ne devront être reliées métalliquement à aucune autre voie non électrisée de tramway ou le chemin de fer; elles ne devront pas s'en approcher à moins de 0,50 m.

Il est également interdit d'établir aucune liaison métallique entre la voie ou les conducteurs de retour et les conduites ou masses métalliques situées sous la chaussée et de relier aucun conducteur de retour à la masse d'un pont métallique.

Au contraire, aux points de rencontre ou de croisement de plusieurs voies servant de retours électriques à une même compagnie ou à des compagnies différentes, l'administration pourra autoriser le ou les concessionnaires à mettre ces différentes voies en communication métallique pour en égaliser les potentiels et réduire ainsi les courants de dérivation entre elles par la terre.

**40. Polarité du retour.** — Lorsque le retour aura lieu par les rails, les dynamos génératrices devront être reliées par leur pôle — aux voies du retour, et par leur pôle + au réseau de distribution.

**41. Uniformisation du potentiel sur les voies de retour.** — Pour réduire les dangers d'électrolyse des conduites, le concessionnaire devra uniformiser le plus possible le potentiel aux différents points des voies, en donnant à celles-ci la plus grande conductibilité possible et en les reliant à la station génératrice par un nombre de feeders suffisant.

**42. Feeders de retour.** — Les feeders de retour seront des câbles armés, à isolement plus léger, si on le veut, que les feeders de distribution (100 000 ohms par kilomètre). Les deux espèces de feeders pourront être réunies dans une même tranchée, ou même former un seul câble concentrique. Les feeders de retour aboutiront à l'usine à un tableau spécial portant des ampèremètres pour vérifier la répartition du courant entre eux. Si l'effet de simples feeders est insuffisant, on intercalera au besoin dans chacun d'eux des rhéostats ou es dynamos auxiliaires appropriés.

**43. Limite des différences de potentiel.** — En aucun cas, dans l'intérieur de la ville, la différence de potentiel entre une conduite et les rails voisins ne devra, si la conduite est positive, dépasser 2 volts; la différence de potentie entre un point quelconque des lignes urbaines et la barre — de l'usine génératrice ne pourra dépasser 5 volts en moyenne (moyenne d'une journée de 24 h.).

A l'extérieur de la ville, sur les routes où il n'y a aucune conduite métallique, cette limitation n'est plus applicable et il suffira que la variation de voltage le long de la voie ne dépasse pas 1 volt par kilomètre [1].

[1] Règle du Comité d'Électricité du ministère des Postes et Télégraphes



Digitized by Google

**sage des voies sur des ponts métalliques.** — Entre les deux extré-
n pont métallique la voie ne devra pas présenter une différence de
de plus de 0,25 volt; la même différence ne devra pas être dépassée
nasse métallique du pont et les rails, ni entre la masse du pont et
ıites qui peuvent se trouver placées sur celui-ci.

**pilotes.** — Pour faciliter la vérification des conditions dans lesquelles
le retour du courant, le concessionnaire devra établir entre l'usine
nts les plus éloignés des différentes voies, tout au moins dans le
occupé par des conduites métalliques souterraines, des fils pilotes
nt à un voltmètre qui servira à mesurer les différences de potentiel
points et la barre négative de l'usine. Il devra installer sur les ponts
es un système analogue pour mesurer la différence de potentiel
s deux extrémités.
téléphoniques destinés à l'exploitation du tramway pourront être
comme fils pilotes moyennant des dispositions convenables. Les
s pilotes pourront être utilisés à d'autres moments pour la mesure
e de potentiel le long du réseau de distribution.

– PRESCRIPTIONS ADMINISTRATIVES RELATIVES A L'EXPLOITATION

**cution de fouilles sur la voie publique**[1]. — Pendant l'exploitation,
ı de toute fouille sur la voie publique pour des vérifications ou des
s devra être précédée d'une demande d'autorisation adressée en
pédition et contre reçu au service du contrôle. Cependant, en cas
ubite ou d'accident, le concessionnaire peut exécuter les fouilles
s, à charge de justifier l'urgence et de remplir les formalités ci-
ıs les vingt-quatre heures.

**blissement de conducteurs nouveaux.** — Pour l'établissement de
rs nouveaux (fils de service ou feeders) ou pour une modification aux
rs existants, le concessionnaire devra adresser au service du contrôle
nde d'autorisation en double expédition (dont l'une sera remise à
ration des Postes et Télégraphes). Si dans les quinze jours de l'envoi
ande le concessionnaire n'a pas reçu d'avis contraire, il pourra exé-
ravaux en se conformant aux indications portées sur sa demande.

**annuelle au courant du plan du réseau.** — Chaque année, dans la
quinzaine de janvier, le concessionnaire devra adresser en double
au service du contrôle un état dûment signé, indiquant les modifi-
lditions ou suppressions apportées au réseau, et les plans ou extraits
ıécessaires à la mise à jour du plan du réseau.

**ification de l'état des conducteurs et de leurs supports pendant**
**ion.** — Le concessionnaire sera tenu de vérifier l'état des feeders.

cles 47, 48, 49, 50 et 51 reproduisent des dispositions de l'arrêté préfectora
embre 1893.



ducteurs aériens, de leurs s
électrique et mécanique le plu
fois par trimestre s'il s'agit
rails, au moins une fois par m
électrique, à toute réquisition du
mesures d'isolement fréquentes, le r
marchés à certaines heures
communiquant à la terre.
retour devront également pouvo
cas, le tableau d'usine d
mesure quotidienne de la perte tota
service. Cette perte ne dev
sion on devra, sans attendr
supprimer la perte dans les vingt
vérifications requises seront
délégué. Les résultats de
conforme au modèle joi
toute réquisition aux agents

**Surveillance.** — En outre, les
des conditions électriques
toutes les expériences et ép
électrique, la sécurité de la
en se servant des moyens
exécution de l'arrêté préfec

**Objets des vérifications.** —
:

état physique des conducteur
aériens.

état physique des canalisation
conducteurs du concessionn
plus de chance d'être attaqué
sont le plus positives par ra
conduire le courant

conditions électriques de fonc
maxima de distributio
intensité de courant maxima d
intensité de courant qui produ
canalisation par l'effet des
courant de perte total de la
aérienne, mesuré journ
des canalisations aéri
;
des circuits des voit

Digitized by Google

des conducteurs aériens, de leurs supports et des voies de retour au point de vue électrique et mécanique le plus souvent possible, en tout cas au moins une fois par trimestre s'il s'agit de courants continus ne dépassant pas 600 volts, au moins une fois par mois dans le cas contraire, et, à un moment quelconque, à toute réquisition du service du contrôle. Pour permettre des mesures d'isolement fréquentes, le réseau aérien et les feeders devront pouvoir être débranchés à certaines heures du jour ou de la nuit et isolés de tous appareils communiquant à la terre, tels que lampes, voitures, etc. Les feeders de retour devront également pouvoir être isolés à leurs deux extrémités.

En tout cas, le tableau d'usine doit être disposé de façon à permettre la mesure quotidienne de la perte totale de courant à la terre du réseau avant la mise en service. Cette perte ne devra pas dépasser 0,2 amp. par kilomètre de voies; sinon on devra, sans attendre la mesure régulière d'isolement, localiser et supprimer la perte dans les vingt-quatre heures.

Les vérifications requises seront faites en présence d'un agent du contrôle ou de son délégué. Les résultats de chaque vérification seront consignés sur un registre conforme au modèle joint au présent arrêté et qui devra être présenté à toute réquisition aux agents du contrôle.

**50. Surveillance.** — En outre, les ingénieurs et agents du service chargé du contrôle des conditions électriques procéderont ou feront procéder en leur présence à toutes les expériences et épreuves nécessaires pour assurer, au point de vue électrique, la sécurité de la voie publique et la protection des services publics, en se servant des moyens mis à leur disposition par le concessionnaire en exécution de l'arrêté préfectoral d'autorisation.

**51. Objets des vérifications.** — Les vérifications porteront sur trois objets différents :

*A.* État physique des conducteurs, de leurs isolateurs, de leurs supports et accessoires.

*B.* État physique des canalisations souterraines étrangères voisines des voies ou des conducteurs du concessionnaire, particulièrement aux points où elles ont le plus de chance d'être attaquées (surface des conduites, dans les régions où elles sont le plus positives par rapport aux rails; joints, dans les régions où elles semblent conduire le courant dérivé maximum).

*C.* Conditions électriques de fonctionnement de la distribution, à savoir :

1° Tension maxima de distribution ;

2° Intensité de courant maxima dans les conducteurs ;

3° Intensité de courant qui produit la mise hors circuit des différentes parties de la canalisation par l'effet des coupe-circuits ou des disjoncteurs ;

4° Courant de perte total de la canalisation aérienne ou des portions de canalisation aérienne, mesuré journellement à l'usine ;

5° Isolement des canalisations aériennes et souterraines tronçonnées, mesuré périodiquement ;

6° Isolement des circuits des voitures ;

Digitized by Google

ement des régulateurs et appareils de sûreté placés sur le

potentiel moyenne entre les divers points des voies de
oltmètre enregistreur ;
potentiel entre les masses métalliques souterraines et les

s voies de retour et, si c'est possible, vérification des joints;
est possible et utile, vérification de la résistance des rails
onduites souterraines voisines.

**vérifications.** — Le service du contrôle pourra exiger du
mélioration du réseau lorsque l'isolement sera insuffisant ou
seront à craindre par contact avec les personnes ou avec
ème il pourra exiger l'amélioration des circuits de retour
potentiel moyenne le long de ces voies dépassera les limites
rt. 44). Il y aurait lieu également de prescrire des modifica-
tion si le courant dérivé sur l'une ou l'autre des lignes
du courant de retour sur cette ligne ou si les attaques élec-
ent une importance assez grande pour constituer un danger
ublique.
nérale, à toute réquisition, le concessionnaire devra prendre
s nécessaires pour faire cesser les dangers constatés; sinon
suspendue par le service du contrôle.

**ité civile du concessionnaire.** — Le concessionnaire reste
ous les cas, responsable envers les tiers (ou l'État pour les
) des accidents qui résulteraient de l'établissement ou du
le son installation et obligé de répondre aux actions civiles
ui être intentées en réparation de dommages et intérêts:
règles précédentes ne saurait le soustraire à cette responsa-
mites où elle serait établie par les tribunaux.

**du concessionnaire vis-à-vis du contrôle.** — Tous les acci-
, les interruptions de service, etc., devront être signalés aussi-
contrôle, ainsi que les mesures prises pour y porter remède.
tre, mentionnés sur le registre dont il est question plus loin.

**n des perturbations dans les lignes télégraphiques ou télépho-**
. — (Pour mémoire. — Voir l'article 7 de la loi du 25 juin 1895.

**exploitation.** — Le concessionnaire devra tenir un registre spé-
d'exploitation qui pourront être demandés par le service du
ticulier des suivants :

*rnaliers.*

oitures en service ;

4 et 56, que nous indiquons pour mémoire, peuvent être supprimés.



rant maximum débité ;
age maximum ;
ère à la terre totale de la ligne aér

*Relevés mensuels.*

ement des feeders de distributio
ement des feeders de retour ;
urbes de variation des différences

*Relevés trimestriels* (pendant la p
ant les suivantes).

nductance des rails de retour ;
fférence de potentiel en divers poin
s ou les conduites souterraines et
urants de dérivation totaux à la te

*Relevés annuels statistiques.*

mbre maximum, minimum et moy
stinguant les automobiles et les vo
mbre maximum, minimum et moy
ge jour par chaque espèce de voitu
sultats intéressants ou imprévus de
tail des accidents ou événements ar

3. — CONTRÔLE DES INS
ÉLECTRI

**ôle du contrôle.** — Conformé
juin 1880 et aux articles 16 et 3
ique du 6 août 1881, la constr
s et l'exploitation des voies ferr
retien du matériel roulant, so
veillance des préfets, sous l'auto
. Une fois les agents chargé
par le préfet, ils assument la re
des travaux et de l'exploit
par leur intermédiaire que to
militaire, postes et télégraph
pour faire modifier par le conc
de ses canalisations électrique
partie de celles-ci en cours d

Digitized by Google

Courant maximum débité ;
Voltage maximum ;
Perte à la terre totale de la ligne aérienne.

*Relevés mensuels.*

Isolement des feeders de distribution ;
Isolement des feeders de retour ;
Courbes de variation des différences de potentiel sur le réseau de retour

*Relevés trimestriels* (pendant la première année, pouvant être annuels pendant les suivantes).

Conductance des rails de retour ;
Différence de potentiel en divers points intéressants entre les masses métalliques ou les conduites souterraines et les rails ;
Courants de dérivation totaux à la terre sur les lignes principales.

*Relevés annuels statistiques.*

Nombre maximum, minimum et moyen des voitures en service chaque jour, en distinguant les automobiles et les voitures d'attelage ;
Nombre maximum, minimum et moyen des kilomètres-voitures parcourus chaque jour par chaque espèce de voiture ;
Résultats intéressants ou imprévus de l'exploitation ;
Détail des accidents ou événements anormaux constatés pendant l'année.

## § 3. — Contrôle des installations de traction électrique

**Rôle du contrôle.** — Conformément à l'article 21 de la loi du 11 juin 1880 et aux articles 16 et 39 du règlement d'administration publique du 6 août 1881, la construction, l'entretien, les réparations et l'exploitation des voies ferrées et de leurs dépendances et l'entretien du matériel roulant, sont soumis au contrôle et à la surveillance des préfets, sous l'autorité du ministre des Travaux Publics. Une fois les agents chargés du service du contrôle nommés par le préfet, ils assument la responsabilité entière de la surveillance des travaux et de l'exploitation dans toutes ses parties. C'est par leur intermédiaire que tous les autres services (voirie, génie militaire, postes et télégraphes, etc.) doivent absolument passer pour faire modifier par le concessionnaire soit les projets de détail de ses canalisations électriques avant exécution, soit telle ou telle partie de celles-ci en cours d'exploitation.

Digitized by Google

rticulier, comme nous l'avons rappelé, d'après l'article 7 de la loi du 1895, toute installation électrique doit être exploitée de manière à ter par induction, dérivation ou autrement aucun trouble dans les ssions télégraphiques ou téléphoniques préexistantes. Les ingénieurs graphes sont chargés de surveiller ces troubles et de proposer au les mesures correctives. Lorsqu'ils jugeront nécessaire de déplacer ou fier des lignes télégraphiques ou téléphoniques, le même article stipule omité d'Électricité sera consulté. Il est d'ailleurs de règle absolue que é concédante seule peut recevoir les observations ou réquisitions des dministrations. Ce sera donc aux agents du contrôle à faire connaître essionnaire les décisions prises par l'autorité concédante sur la réqui- l'administration des Télégraphes et à lui faire exécuter, s'il y a lieu, ifications de conducteurs ou installations supplémentaires exigées. En , les agents locaux des Télégraphes doivent pouvoir adresser leurs ions et réquisitions aux agents locaux du contrôle, qui y donneront médiatement s'ils n'y voient pas d'inconvénient, mais sans avoir le nterpréter les réquisitions de l'administration des Télégraphes ni de un litige entre le concessionnaire et les autres services, comme ils en ission dans d'autres pays, tels que l'Allemagne (voir l'annexe n° 24); ent les mesures demandées nuisibles à l'intérêt public qu'ils défendent, nt seulement s'adresser au ministre qui représente le pouvoir concé- 'est à celui-ci de discuter ces mesures avec ses collègues. De même, si sionnaire entend protester contre les mesures qu'on veut lui imposer, se à l'autorité concédante, qui aura à discuter cette protestation avec stration des Télégraphes.

inistration des Télégraphes, les services de voirie, etc., ne peuvent r que dans les questions qui les touchent directement; mais il va sans le service du contrôle pourra souvent prendre leurs avis offi-

rience des dernières années montre qu'en ce qui concerne les instal- e tramways électriques on peut souhaiter, dans l'intérêt même de ncessionnaires, qu'elles soient, au point de vue électrique, l'objet d'une nce plus complète et plus précise, donnant lieu non pas à des exi- exatoires, mais à une sorte de collaboration bienveillante des agents ôle avec les services publics de transport. Les intérêts de la sécurité sont tout aussi importants pour le concessionnaire que pour l'admi- n, car c'est sur lui, en définitive, que retombe toute la responsabilité s accidents occasionnés par l'exploitation.

**odes simples applicables au contrôle de la partie électrique nstallation de traction.** — La vérification des règles indi- au paragraphe précédent comporte, soit pour les exploi- oit pour le contrôle, quelques mesures électriques avec es il est facile de se familiariser.

us paraît utile, pour éviter des recherches dans les ouvrages



ment[1], d'indiquer sommairement qu se une forme directement applicable

**ltage et intensité maxima.** — On à la station, à toute heure du j enregistreur d'un type quelconque app ra bien de vérifier les indication les variations ou des avaries assez fr de précision (Weston, Carpentie tous les ans par le Laboratoire de même, par les ampèremètre feeders ne dépasse pas la limite q

**olement du réseau**[2]. — Pour m quelconque de canalisation, on d dérivations (lampes, moteurs, on mesure alors la résista ique (âme) de cette canalisat dra généralement sur une con des méthodes mentionnées pour la mesure de l'isolem ation, pont de Wheatstone, c'est qu'on reliera l'une d ils ou à l'âme du câble.

*méthode de la déviation* s'a al comme galvanomètre un sion même de distribution lts ayant une résistance de r mesurer l'isolement des du réseau à l'aide des int ltimètre G de 600 volts, c mutateur à fiches F. So

s mesures électriques on cons Monvoisin, *Contrôle des instal* 2. ...ipes de ces méthodes de ...e des resistances des rails, son ...1 (1895); elles diffèrent peu

Digitized by Google

généraux[1], d'indiquer sommairement quelques méthodes pratiques sous une forme directement applicable à ces vérifications.

**Voltage et intensité maxima.** — On mesurera le voltage maximum à la station, à toute heure du jour, à l'aide d'un voltmètre enregistreur d'un type quelconque approprié au voltage de l'usine. On fera bien de vérifier les indications de ces intruments, soumis à des variations ou des avaries assez fréquentes, à l'aide d'un voltmètre de précision (Weston, Carpentier ou Chauvin-Arnoux) réétalonné tous les ans par le Laboratoire central d'Électricité. On vérifiera de même, par les ampèremètres du tableau, que le courant des feeders ne dépasse pas la limite qu'ils peuvent supporter.

**Isolement du réseau**[2]. — Pour mesurer l'isolement d'une partie quelconque de canalisation, on doit d'abord la séparer de toutes les dérivations (lampes, moteurs, etc.) et des autres parties du réseau; on mesure alors la résistance à la perte entre la partie métallique (âme) de cette canalisation et une bonne terre, qu'on prendra généralement sur une conduite souterraine. On emploiera l'une des méthodes mentionnées dans un autre chapitre (t. II, p. 373) pour la mesure de l'isolement des moteurs : méthode de la déviation, pont de Wheatstone, ohmmètre, etc.; la seule différence, c'est qu'on reliera l'une des bornes à la terre et l'autre aux fils ou à l'âme du câble.

La *méthode de la déviation* s'applique le plus souvent en employant comme galvanomètre un simple voltmètre construit pour la tension même de distribution, par exemple un voltmètre de 600 volts ayant une résistance de 60 à 80 000 ohms.

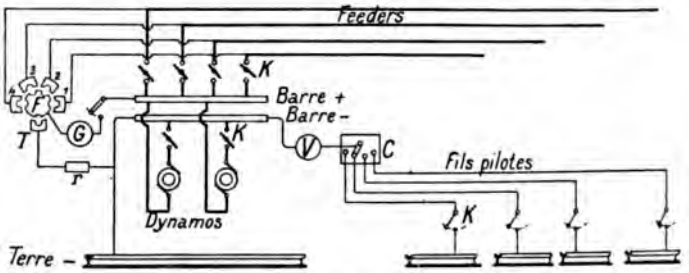
Pour mesurer l'isolement des feeders par cette méthode, on les sépare du réseau à l'aide des interrupteurs et on dispose à l'usine un voltmètre G de 600 volts, comme l'indique la figure 28, avec un commutateur à fiches F. Soient G la résistance du voltmètre

[1] Pour les mesures électriques on consultera avec fruit : Éric Gérard, *Mesures électriques;* Monmerqué, *Contrôle des installations électriques ;* Armagnat, *Mesures électriques*, etc.

[2] Quelques-unes de ces méthodes de mesure d'isolement, ainsi que celles pour la mesure des résistances des rails, sont empruntées à un article de M. Porter (*Electrical Word*, 1897); elles diffèrent peu de celles indiquées par M. Kallmann en 1893.

Digitized by Google

n ohms et U la tension de distribution à l'usine. On relie d'abord : galvanomètre à la terre par la fiche T et on lit le voltage U; uis on remplace la fiche T par la fiche 1 et on lit un voltage plus



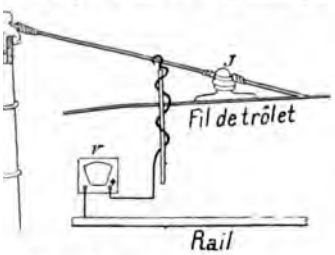

g. 28. — Mesure de l'isolement des feeders à l'usine par la méthode du voltmètre et des différences de potentiel sur les voies de retour.

ible $u$. La résistance d'isolement du feeder 1 s'en déduit par la rmule

$$R = \left(\frac{U}{u} - 1\right) G, \text{ en ohms.}$$

n mesure de même celle des autres feeders.

La même méthode permet, en mettant à la fois toutes les fiches du mmutateur F, de mesurer l'isolement total R du réseau (qui devra re de plus de 1 mégohm par km. de lignes) ou la perte totale à la terre $I = \frac{U}{R}$; on peut lire celle-ci directement en ajoutant au voltmètre une graduation en ampères.




g. 29. — Dispositif pour la mesure de l'isolement du fil de travail.

On peut employer aussi le même procédé sur la ligne pour mesurer l'isolement d'une section quelconque, après l'avoir séparée de ses voisines; on prendra le courant nécessaire sur le reste de la ligne.

Cette méthode sert enfin pour mesurer l'isolement du fil de avail par rapport aux câbles de suspension : il suffit, comme le ontre la figure 29, d'intercaler le voltmètre dans un circuit relié une part aux rails et terminé d'autre part par une boucle, qu'on croche à l'aide d'une perche isolante d'abord au fil de travail, uis au câble de suspension; la même équation donne R en fonc-

Digitized by Google

tion des deux lectures successives. On peut ainsi mesurer de proche en proche, à partir des tronçons les plus éloignés, l'isolement des diverses sections du réseau.

Bien que médiocrement sensible, cette méthode suffit sur un réseau de tramway, toutes les fois qu'il s'agit seulement de vérifier que l'isolement reste supérieur aux limites pratiques fixées. Par exemple, si l'on veut vérifier que l'isolement d'un feeder satisfait à la règle du ministère des Travaux Publics

$$R \geqq 5\ U^2,$$

dans une usine génératrice où la tension est de 550 volts, à l'aide d'un voltmètre de 600 volts ayant 80 000 ohms de résistance, il suffira de constater que la déviation donne un nombre de volts inférieur à

$$600 \times \frac{80\,000}{R + 80\,000} = 600 \times \frac{80\,000}{1\,800\,000 + 80\,000} = 25{,}5 \text{ volts},$$

valeur qui est encore lisible sur la graduation du voltmètre.

On peut avoir beaucoup plus de précision pour l'isolement des feeders (qui est toujours élevé) en remplaçant le voltmètre par un galvanomètre plus sensible, atteignant son maximum de déviation sous 600 volts avec un grande résistance en série (1 mégohm par exemple). On dispose cette résistance $r$ entre le commutateur à fiches F (fig. 28) et la terre. Soient $\alpha$ le nombre de divisions lu lorsqu'on met la fiche T, et $\alpha'$ celui qu'on obtient ensuite en mettant la fiche 1. La résistance cherchée a pour valeur

$$R = r\,\frac{\alpha}{\alpha'}.$$

Cette disposition n'est qu'un cas particulier de la méthode générale de comparaison, dans laquelle on adjoint au galvanomètre G un shunt, non représenté, dont on peut faire varier la résistance de façon à avoir chaque fois une grande déviation. Soient $m$ et $m'$ les pouvoirs multiplicateurs du shunt dans les deux mesures (c'est-à-dire les chiffres par lesquels il faut multiplier la déviation lue pour obtenir la valeur correspondante qu'on aurait sans shunt [1]); la résistance cherchée a pour valeur

$$R = r\,\frac{m'\alpha'}{m\alpha}.$$

La méthode de la déviation est utilisée sur bien des réseaux de tramways; elle est simple, sensible et assez exacte à la condition de se placer pour les conducteurs souterrains dans les conditions où les phénomènes d'électrification du diélectrique des câbles sont peu sensibles; on obtient, par exemple, de bonnes mesures en opérant avec la tension même du réseau et en ne faisant les

[1] Ces chiffres se lisent sur le shunt au droit des fiches correspondantes.

Digitized by Google

ectures que lorsque les câbles sont depuis longtemps en charge, comme c'est e cas à la fin de la journée.

Si l'on emploie au contraire de faibles f. é. m., il faut faire grande attention la charge résiduelle, souvent très considérable, des câbles et commencer par annuler en inversant le courant et mettant l'âme du câble à la terre d'une açon prolongée.

A Boston, sur le réseau de la West End Ry. Co., on vérifie l'absence d'électrification résiduelle en isolant le câble après l'avoir ainsi mis à la terre : en le échargeant après cinq minutes dans un balistique, on ne doit pas trouver de harge sensible. Sur le même réseau, on a remarqué que les variations continuelles du potentiel aux divers points de la terre, dus aux variations du ourant des voitures, rendent pendant les heures d'exploitation la méthode de a déviation à peu près inapplicable, par suite des charges et décharges qu'elles roduisent dans le câble. On a dû recourir, par suite, à la méthode bien connue e la *perte de charge*, qui consiste à charger à un certain potentiel le câble réalablement isolé et à le décharger aussitôt dans un galvanomètre balistique, uis à refaire la même suite d'opérations en laissant entre la fin de la charge t le moment de la décharge un certain intervalle de temps (1 minute par xemple)[1].

A côté de la méthode de la déviation, on emploie aussi avec succès les ohmmètres à boussole Carpentier et les ponts de Wheatstone portatifs; les plus ommodes sont ceux qui donnent la résistance par simple lecture.

Supposons, par exemple, qu'on emploie l'ohmmètre Chauvin et Arnoux, qui st un simple pont de Wheatstone à fil divisé. La figure 30 indique schématiuement la disposition des circuits de l'appareil. On réunit les bornes X et X' espectivement à l'âme du câble M dont on cherche l'isolement et aux rails (ou une bonne terre F). Le pont comprend ainsi :

1° Deux bras formés par la résistance d'isolement $x$ et par une résistance e comparaison R, à laquelle un curseur C' permet de donner à volonté les aleurs 10, 100, 1 000, 10 000 ou 100 000 ohms; on prend la valeur R la plus oisine de $x$ pour avoir la sensibilité maxima;

2° Un fil divisé BB' formé d'un fil de cuivre de 1/10 mm. enroulé sur un tube olant et sur lequel se déplace un curseur C; la position de l'index sur une règle raduée donne directement le rapport $\frac{a}{b}$ des résistances des deux portions du l divisé, dont la résistance totale $a + b$ est égale à environ 2 200 ohms;

[1] Soient $t$ cet intervalle en minutes, C la capacité du câble en microfarads, $\alpha$ et $\alpha'$ s déflexions de la première et de la seconde décharge ; la résistance d'isolement est onnée par la relation

$$R = \frac{26{,}06\ t}{C \log \frac{\alpha}{\alpha'}}.$$

s'obtient par comparaison avec un condensateur étalon.

Mais cette méthode, qui exige l'emploi d'un galvanomètre balistique et la mesure 'une capacité, ne peut être appliquée que dans des laboratoires spéciaux, comme ceux es puissantes compagnies américaines. Elle n'aurait, du reste, guère de raison d'être n Europe, car il faut remarquer qu'à Boston on a admis jusqu'ici sur le retour de randes différences de potentiel, qui ne seraient pas tolérées chez nous; c'est à cette rconstance qu'il faut attribuer les effets de charge constatés.

Digitized by Google

3° Un galvanoscope à aiguille d'aluminium, sensible et amorti, du genre d'Arsonval, analogue aux voltmètres du même constructeur et suspendu entre deux boudins en bande d'argent ;

4° Une pile sèche de 18 volts environ, avec une résistance de protection $r$ de 300 ohms, placée dans une caisse séparée.

Pour faire une mesure, on appuie sur le bouton K (pile), puis sur le bouton D (galvanoscope), et on déplace le curseur C jusqu'à ce que l'aiguille du galvanoscope reste à zéro. On lit alors sur la règle divisée la valeur du rapport $\frac{a}{b}$ et on en déduit la résistance cherchée

$$x = \frac{a}{b} \text{ R.}$$

S'il s'agit d'un câble souterrain, présentant de la capacité diélectrique, il faut, pour les mêmes motifs que plus haut, régler la position du curseur de

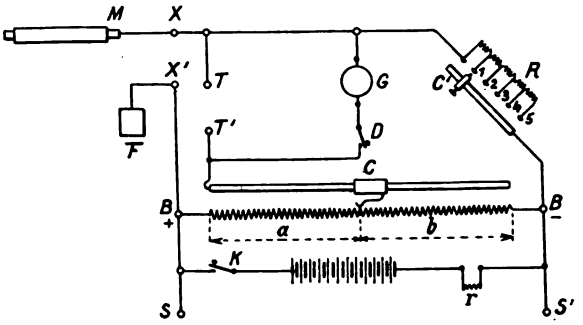



Fig. 30. — Montage de l'ohmmètre Chauvin et Arnoux pour la mesure de l'isolement d'un feeder.

façon que l'équilibre soit réalisé non pas au moment même de la fermeture du bouton K, mais après le temps fixé pour l'électrification, par exemple après 1 minute. Cette précaution est inutile pour mesurer l'isolement d'un conducteur aérien.

Ce pont est d'un emploi très commode ; il donne de bonnes lectures jusqu'à 2 mégohms environ ; au delà, il serait bon d'employer une résistance de comparaison plus forte (0,5 ou 1 mégohm).

**Recherche des défauts.** — Lorsqu'on constate une insuffisance d'isolement du réseau pris dans son ensemble, il faut rechercher le défaut par l'une des différentes méthodes indiquées dans les traités de mesures.

La plus sûre et la plus simple est en général la méthode des sectionnements, qui est facilement applicable aux réseaux de tramways, toujours divisés en sections séparables. On débranche les différentes lignes rayonnant de l'usine et on les essaye séparément. Si l'on en trouve une qui n'ait pas l'isolement voulu, on la divise en deux tronçons, qu'on essaye successivement. Si l'un d'eux a un isolement insuffisant, on le divise à son tour en deux parties, etc.

Un autre procédé, qui est une application de la méthode du voltmètre, permet de retrouver un défaut d'une ligne aérienne pendant le jour : on fait

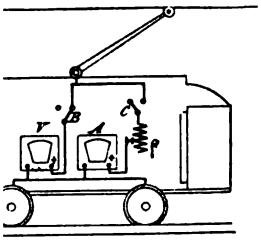
Digitized by Google

ntement sur la voie qui suit cette ligne une voiture portant deux es bien semblables, reliés l'un au trôlet, l'autre à une perche auxi- lante portant un ressort qui vient frotter au passage sur les fils trans- les deux voltmètres, étant mis d'autre part à la terre, donnent l'un n U, l'autre la déviation $u$ de la formule précédente (p. 648). Toute agérée de $u$ indique un défaut d'isolation.

herche de ces défauts n'intéresse directement que le concessionnaire. e du contrôle se borne à vérifier que l'isolement est suffisant.

**stances de la ligne et de la voie.** — Le service du contrôle érifier la valeur des résistances de la ligne et de la voie, ent à titre d'indication accessoire, pour se rendre compte état des circuits d'aller et de retour. Cela exige que chaque oit séparée des autres, de façon à éviter la présence de s fermées. Sur chaque ligne partant de l'usine, il suffit 'appliquer la méthode potentiométrique.

ce à l'extrémité la plus éloignée une voiture ayant ses moteurs hors




— Disposition des ins- its pour la mesure de la nce totale d'une ligne t retour par la méthode ométrique.

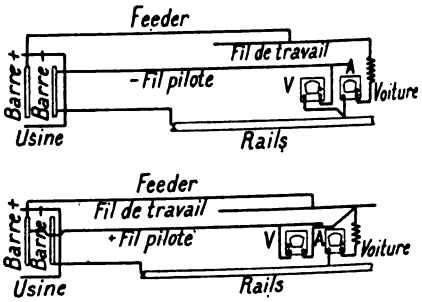



Fig. 32 et 33. — Mesures des résistances séparées de la ligne et du retour.

it, mais mettant la ligne en communication avec les rails (fig. 31) par et un rhéostat $\rho$, qui permet de régler le courant à une valeur conve- Jn voltmètre V relié à la ligne indique le voltage, qu'on compare à esuré à l'usine.

ut aussi séparer les chutes de voltage de l'aller et du retour en inter- comme le montrent les figures 32 et 33, le voltmètre dans le circuit d'un e partant d'une barre du tableau de distribution de l'usine et aboutis- t à la voie, soit au conducteur aérien. Ce voltmètre indique directe- chute de voltage dans la ligne ou dans la voie, et il suffit de la diviser ourant, mesuré à l'ampèremètre, pour connaitre la résistance soit de oit du retour.

Digitized by Google

En promenant la voiture depuis l'usine jusqu'à l'extrémité d'une ligne et en faisant de distance en distance cette mesure, pour laquelle on peut utiliser les fils téléphoniques particuliers du tramway, on peut voir comment la résistance varie en fonction de la longueur et trouver les points de résistance anormale, notamment les points mauvais des voies de retour. Pour cette dernière espèce de mesure, on opère plus directement en promenant pendant la nuit sur la voie deux voitures reliées par un attelage isolant (fig. 34), celle de tête recevant le courant de la ligne, celle de queue servant uniquement à prendre la différence de potentiel au moyen d'un voltmètre V relié aux trucks des deux véhicules. Au passage d'un joint de rails, on constate une variation brusque de potentiel $u$, qui, divisée par le courant I lu à l'ampèremètre, donne la résistance de ce joint. Cette méthode est inapplicable quand les joints des deux files de rails se chevauchent, car le courant se partage entre les rails sui-

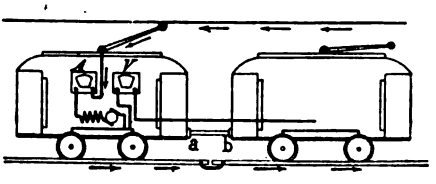



Fig. 34. — Schéma du dispositif employé pour mesurer la résistance des joints de la voie de retour.

vant une proportion inconnue ; mais on peut comparer la résistance du joint à celle d'un tronçon de rail immédiatement voisin, limité par un troisième frotteur, dont on mesure le potentiel.

On peut par cette dernière méthode mesurer la résistance d'un joint en y faisant passer le courant d'un accumulateur, bien que le courant trouve un passage en dehors du joint par le reste du réseau.

**Différence de potentiel maxima entre les divers points de la voie.** — La méthode des fils pilotes servira principalement à mesurer à l'usine la chute de potentiel maxima entre le point le plus éloigné de chaque ligne et la station. A cet effet, on doit, comme le représente la figure 28, prévoir sur chaque ligne un fil pilote aboutissant à un interrupteur K qui permette de le mettre aisément en relation métallique avec le point le plus éloigné de la voie. A l'usine, tous ces fils pilotes aboutiront à un voltmètre enregistreur V, gradué en général de 0 à 10 volts, avec lequel ils pourront être reliés à tour de rôle par un commutateur C et dont l'autre pôle sera relié à la terre de l'usine ; cette terre sera prise sur les rails toutes les fois qu'ils passeront à proximité immédiate de l'usine, car les conduites peuvent avoir en ce point un potentiel supérieur à celui de la voie. La courbe relevée pendant une

Digitized by Google

ournée de service normal pour chaque ligne ne doit pas accuser ıne moyenne supérieure aux 5 volts prévus.

De même sur un pont métallique A B (fig. 35), un fil pilote *abcd* devra être isposé de façon à être relié facilement à la voie aux deux extrémités du pont vec intercalation d'un voltmètre enregistreur portatif V de 0 à 1 volt.

Les voltmètres enregistreurs choisis pour les applications précédentes doient avoir des résistances suffisantes pour que le courant qui les traverse ne épasse pas 1/5 d'ampère ; ils doivent être apériodiques, comme nous l'avons xpliqué (t. II, p. 389), et ne présenter aucun frottement sensible, ce dont on 'assure en constatant que le trait est finement tremblé et non pas uni. A la igueur on pourra employer un même voltmètre enregistreur pour toutes les

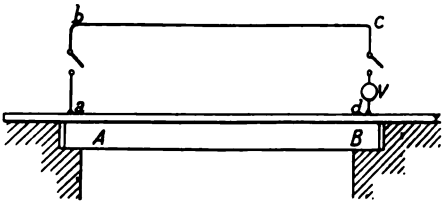



Fig. 35. — Schéma des connexions d'un fil pilote sur un pont métallique.

ıesures précédentes, en le faisant construire sur commande avec plusieurs ·nsibilités différentes.

Ces appareils peuvent être complétés par des voltmètres ordinaires à lecture irecte. On vérifiera leur graduation par comparaison avec un voltmètre de ·écision, étalonné de temps en temps [1].

**Fonctionnement des feeders de retour.** — On peut aussi mesurer e même à l'aide de fils pilotes la perte de charge sur chaque eder de retour. Lorsqu'il n'y a pas de survolteur en circuit, l'ampè-ımètre suffit. Il est toujours nécessaire d'intercaler dans chacun es feeders de retour un ampèremètre, afin de savoir comment répartit entre eux le courant de retour et de modifier, s'il y a lieu, ·tte répartition de la façon la plus favorable pour l'uniformisation ı potentiel et pour le maintien d'une densité de courant conve-ıble dans les câbles.

**Essais accessoires concernant l'électrolyse.** — Il y a souvent intérêt, pour ·précier les dangers d'électrolyse, à mesurer soit les différences de potentiel tre les conduites et les rails, soit le courant de perte total qui suit une nduite donnée.

[1] Un étalonnement tous les deux ans sera suffisant pour les appareils du genre 'eston.

Digitized by Google

1° *Mesure des différences de potentiel entre des masses métalliques et les rails* [1]. — Cette mesure demande plus de précautions que les précédentes, parce que le faible courant qui traverse un voltmètre suffit à produire de sérieuses perturbations dans le régime des courants dérivés.

M. Rowland a cité, par exemple, des mesures qu'il a faites entre le pôle négatif d'une station et une terre, avec divers voltmètres. Il a trouvé :

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 volts | avec un voltmètre | Weston de | 500 volts, | résistance | 60000 | ohms. |
| 1,2 | — | — | 10 | — | 1000 | — |
| 0,4 | — | — | 1 | — | 100 | — |

Cette variation énorme tient à ce que la différence de potentiel constatée existait dans un circuit très résistant où le courant ne pouvait atteindre 0,00005 ampère.

Le véritable instrument pour ces mesures serait donc un électromètre; mais il

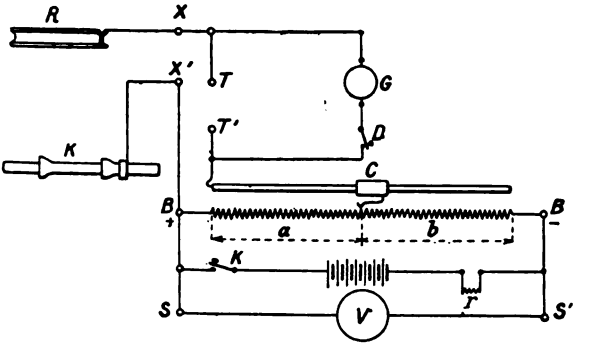



Fig. 36. — Mesure des différences de potentiel des conduites par le potentiomètre.

n'en existe pas de pratique pour ces faibles voltages. A défaut de cet instrument, on ne devra employer que des voltmètres très sensibles, qui ne consomment pas plus de 1 milliampère pour 5 volts. On les fera étalonner ou on les vérifiera d'après un étalon de f. é. m. avec les précautions ordinaires. Ces appareils ne donneront pas des mesures rigoureuses, mais ils peuvent suffire pour permettre des comparaisons utiles. Il serait cependant préférable, pour ce genre d'essai, d'employer la méthode de compensation bien connue, qui consiste à opposer à la différence de potentiel à mesurer une f. é. m. variable à l'aide d'un potentiomètre. En principe, ce potentiomètre consiste en une résistance parcourue par un courant constant et le long de laquelle le potentiel varie d'une manière continue. En établissant sur cette résistance une dérivation entre des

[1] On devra éviter de mesurer la différence de potentiel entre une masse métallique et une terre artificielle obtenue en enfonçant une pièce de métal dans la terre à quelque distance. En effet cette mesure n'a pas de signification précise; elle ne peut d'ailleurs être exacte que si l'on forme la terre artificielle du même métal que la masse et si le courant du voltmètre est nul. Le résultat obtenu varie en outre beaucoup avec le point où l'on prend la terre, suivant la nature et l'humidité du sol.

Digitized by Google

ıts variables, on peut prendre plus ou moins de volts pour les opposer à ifférence de potentiel qu'on veut annuler.

existe dans l'industrie divers modèles pratiques de potentiomètres[1]; mais, me ces instruments sont peu répandus en France, nous conseillons plutôt réaliser un au moyen d'un ohmmètre Chauvin et Arnoux, de la manière ante (fig. 30) : on placera les bornes X et X' en relation avec les rails et la luite entre lesquels on veut mesurer la différence de potentiel et on suppri- a le curseur C' de la figure 30; puis on placera entre les bornes +B et —B batterie de quelques éléments Leclanché, en opposition à la tension XX', n voltmètre V d'une dizaine de volts, destiné à en mesurer la force électro- rice totale que nous appellerons E. On déplacera le curseur jusqu'à l'an- ıtion de la déviation du galvanoscope; à ce moment, la règle graduée donne apport $\frac{a}{b}$ et, par suite, la différence de potentiel cherchée, qui a pour ession $u = \frac{a}{a+b}$ E. Il sera bon, pour plus de commodité, d'employer graduation donnant directement ce dernier rapport.

*Mesure de la résistance d'isolement des conduites par rapport aux rails.* — ésistance d'isolement entre les conduites et les rails se mesurera par les ıes méthodes que la résistance d'isolement des feeders, mais avec des ins- ıents de sensibilité très différente, puisque cette résistance s'exprime en s et non plus en mégohms[2]. Il faut encore, si l'on emploie la méthode ı déviation, se servir d'une batterie non polarisable, avec une résistance tionnelle, et d'un ampèremètre de graduation appropriée. Le pont portatif hmmètre Chauvin et Arnoux se prête encore à cette mesure grâce à l'ad- ın d'une résistance de 300 ohms en série avec la pile.

s déterminations sont délicates parce qu'elles peuvent être faussées par des s de polarisation et par les courants telluriques qui se produisent dans le sol l'influence de causes diverses. On réduira l'effet de ces courants en ayant d'opérer en dehors des heures de fonctionnement du réseau, d'intervertir ns du courant pendant les mesures et de prendre la moyenne des déviа- ; opposées souvent très différentes que l'on obtient ainsi.

ıfin, lorsque cela est possible et si l'on dispose de résistances étalons capacité appréciable, on peut éliminer assez bien ces causes d'erreur en loyant le pont de Wheatstone avec un téléphone au lieu de galvano- e et une petite bobine de Rhumkorff à trembleur (un petit modèle ical, par exemple) au lieu de pile. Dans le pont Chauvin et Arnoux, exemple, on branche le secondaire de la bobine aux bornes S et S' et léphone aux bornes T et T', et on déplace le curseur jusqu'à ce que le s'annule ou passe par un minimum.

ar exemple ceux de Crompton, Nalder, Feussner, etc. Voir à ce sujet une inté- nte communication de M. Gosselin à la *Société des Électriciens*, juin 1898.

l. Rowland a trouvé, par exemple, pour la résistance entre la voie de retour et le u de conduites souterraines d'une ville une valeur de 0,09 ohm seulement. Dans ssais exécutés suivant nos indications, MM. Revel et Jigouzo ont obtenu, sur la Paris-Romainville, pour l'isolement des conduites de l'avenue Gambetta par rap- aux rails, des chiffres variant de 0,67 à 4,50 ohms.

Digitized by Google

# *ANNEXES*



Digitized by Google

ANNE

MATÉRIEL

P

CHEMINS DE FER

Bien que les matériels employés su
plus haut avec les autres matérie
dans ces derniers temps par cette
nous paraît justifier une des
Nous donnerons donc dans ce qui su
détaillés, de voitures locomotrice

I. — VOITURE

M. S. H. Short, ingénieur en chef de
qui peut servir de modèle pou
et dont nous disons du reste a
voiture automotrice est du type
voir t. I, p. 372, 373 et
spéciale, dont les figures
différente, et qui peuvent recev
cependant, on ne rend qu
habituellement 0,838 m. de diam
avec les plus gros moteurs. Le
celui de la caisse est éga
bogies et une charge de 75 vo
la voiture locomotrice, do
Cette voiture remorque 1 ou
16 (p. 678) représente le de
spécialement étudiés en
n° 2.

*General Electric Co.* équipe le m
ou d'autres analogues. La fig
locomotrice à deux moteurs ains
*Compagnie française Thomson-Ho*
de puissantes locomotrices du
donne un exemple typique.

Digitized by Google

# ANNEXE N° 1

## MATÉRIELS SPÉCIAUX

POUR

## CHEMINS DE FER MÉTROPOLITAINS

Bien que les matériels employés sur les métropolitains aient déjà été étudiés plus haut avec les autres matériels de chemins de fer, le développement pris dans ces derniers temps par cette importante application de la traction électrique nous paraît justifier une description complémentaire.

Nous donnerons donc dans ce qui suit quelques exemples récents, avec dessins détaillés, de voitures locomotrices et locomotives spéciales pour métropolitains.

### I. — Voitures locomotrices

M. S. H. Short, ingénieur en chef de la Compagnie *Walker*, a étudié tout un matériel qui peut servir de modèle pour les chemins de fer urbains aériens en général et dont nous disons du reste ailleurs quelques mots (t. II, p. 577).

La voiture automotrice est du type en usage sur tous les métropolitains américains (voir t. I, p. 372, 373 et 466) ; elle repose sur deux bogies de construction spéciale, dont les figures 1 et 2 donnent des spécimens de fabrication différente, et qui peuvent recevoir chacun deux moteurs appropriés ; en général, cependant, on ne rend qu'un seul des bogies moteur. Les roues ont habituellement 0,838 m. de diamètre et l'empattement ne dépasse pas 1,83 m. avec les plus gros moteurs. Le poids des deux trucks réunis est d'environ 10 t. ; celui de la caisse est égal ; avec deux moteurs de 200 chev. sur l'un des bogies et une charge de 75 voyageurs, on arrive à un poids total de 32 t. pour la voiture locomotrice, dont 19,5 t., soit 61 p. 100, sur les roues motrices. Cette voiture remorque 1 ou 2 voitures à bogies ordinaires.

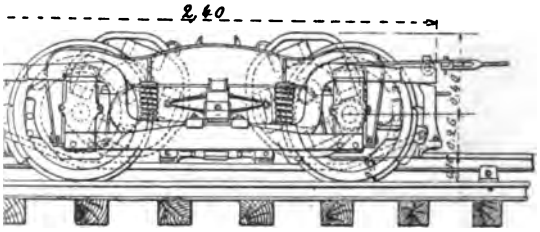
La figure 16 (p. 678) représente le dessin d'encombrement d'un des moteurs (Walker n° 25) spécialement étudiés en vue de ce service et que nous décrivons à l'annexe n° 2.

La *General Electric Co.* équipe le même type de voitures avec ses moteurs G. E. 2 000 ou d'autres analogues. La figure 3 donne le schéma des connexions d'une locomotrice à deux moteurs ainsi équipée.

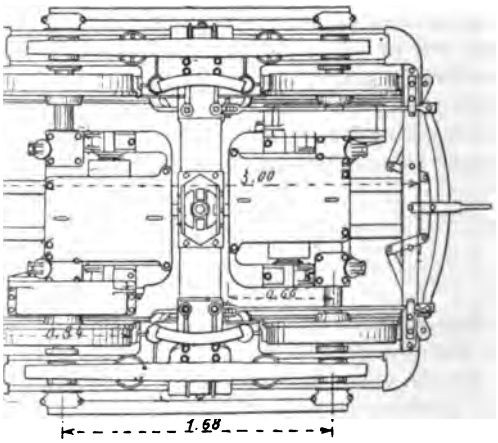
La *Compagnie française Thomson-Houston* a étudié pour les chemins de fer français de puissantes locomotrices du même genre, formant fourgon, dont la figure 4 donne un exemple typique.

Digitized by Google

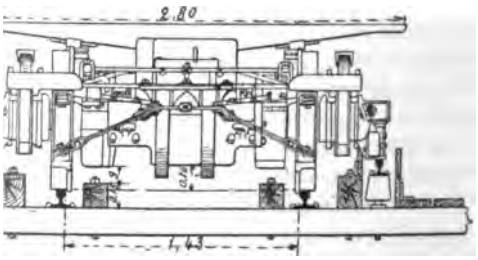
'ormé d'une caisse de 11.40 × 2,80 m., divisée en trois com- celui du milieu, de 7 m. de longueur, est destiné aux ıx extrêmes, de 2 m. de longueur et munis de châssis vitrés,




Élévation longitudinale.




Plan.



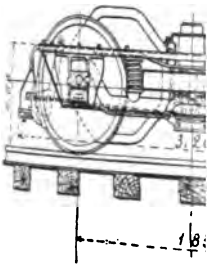

Élévation transversale.

Truck Mc Guire, équipé avec 2 moteurs de 60 chevaux.

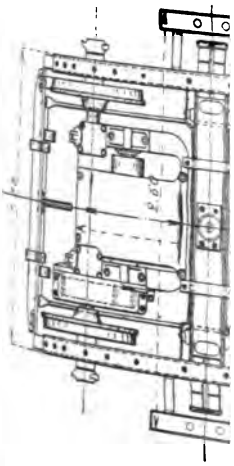
; pour le mécanicien ; ces cabines, munies de portes d'en- ommuniquent avec le compartiment central par des portes pente de la caisse est en bois de chêne, avec de fortes mem- plancher en sapin ou en peuplier. Elle repose par l'inter-



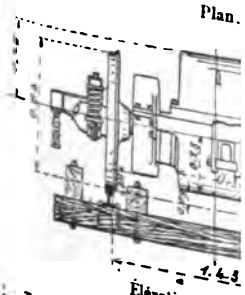
d'un solide châssis en acier ue; chaque bogie a 4 roue ent. Ces bogies sont du ty



Élévation long



Plan.



Élévation trans

Truck Jackson and Sharp, é

longerons d'une seule piè reliés par deux traverses pivot en bois de chêne armé suspendus par le nez

Digitized by Google

médiaire d'un solide châssis en acier sur deux bogies écartés de 6,50 m. d'axe en axe ; chaque bogie a 4 roues de 1,10 m. de diamètre, avec 2,50 m. d'empattement. Ces bogies sont du type ordinaire de la Cie des Wagons-Lits

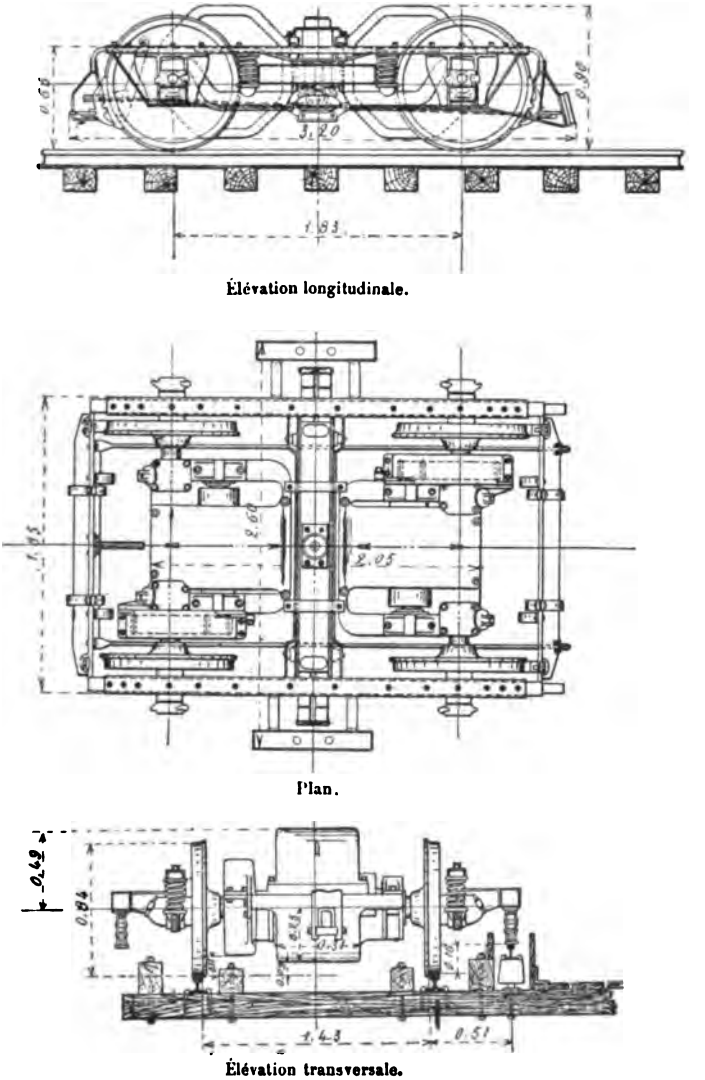



Fig. 2. — Truck Jackson and Sharp, équipé avec 2 moteurs de 125 chevaux.

(fig. 5) avec longerons d'une seule pièce en tôle d'acier emboutie de 10 mm. d'épaisseur, reliés par deux traverses de tête en tôle d'acier de 8 mm. et une traverse de pivot en bois de chêne armée de deux tôles de 10 mm. d'épaisseur. Les moteurs sont suspendus par le nez (voir p. 127). Les essieux sont en acier

Digitized by Google

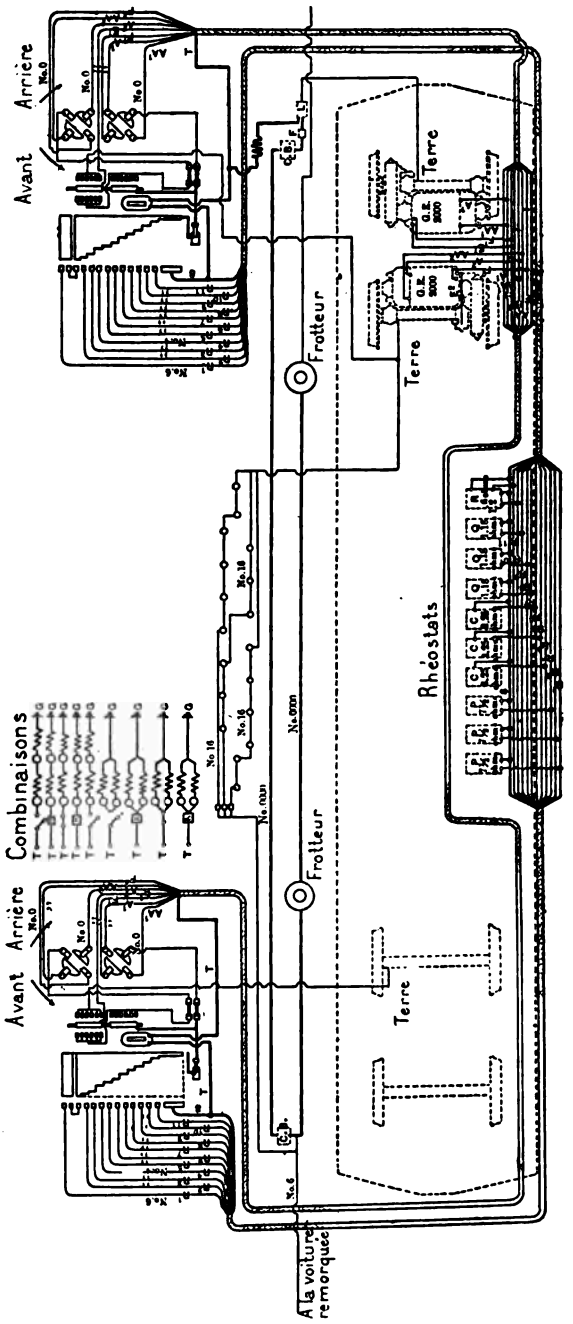
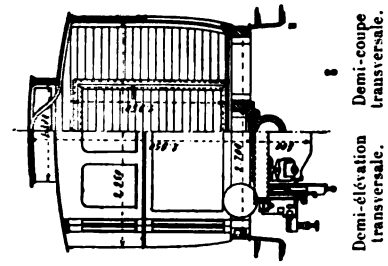
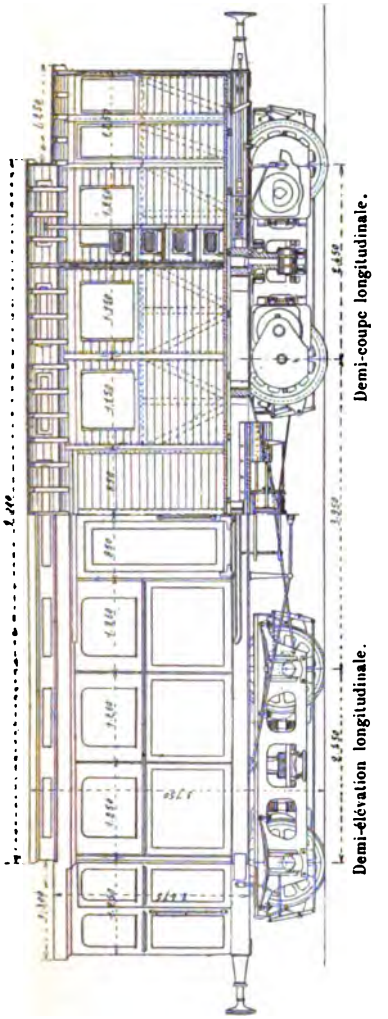



Fig. 3. — Schéma des circuits d'une voiture locomotrice à 2 moteurs de 125 chev. montés sur le même bogie équipée par la General Electric Co.

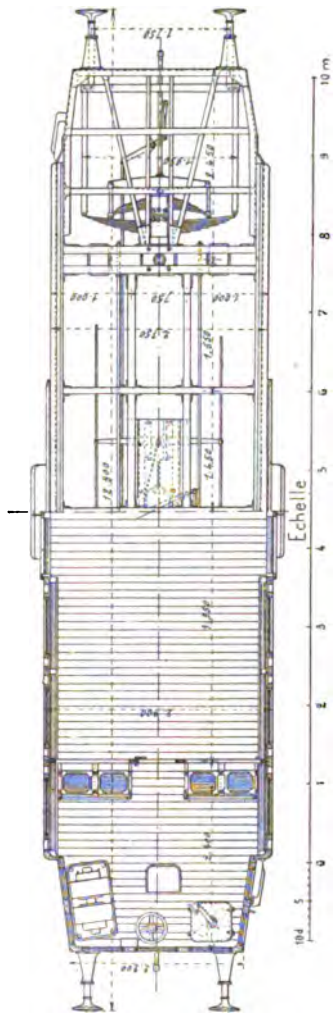
Digitized by Google



Demi-élévation transversale. Demi-coupe transversale.



Demi-élévation longitudinale. Demi-coupe longitudinale.




Demi-plan, la toiture enlevée. Demi-plan du châssis.

**Fig. 4. — Fourgon locomoteur de la Compagnie française Thomson-Houston.**

Digitized by Google

forgé ; leur diamètre est de 150 mm. au milieu du corps et de 115 mm. aux fusées. Les roues, à bandage d'acier de 55 mm. d'épaisseur, sont munies chacune des deux sabots de freins agissant des deux côtés à la fois.

Les moteurs sont du type G. E. 2 000 décrit plus haut (p. 204). Ils ont un induit à tambour à 47 encoches contenant chacune 3 bobines à un seul tour de spire, soit en tout 141 bobines et 141 touches au collecteur. Le grais-

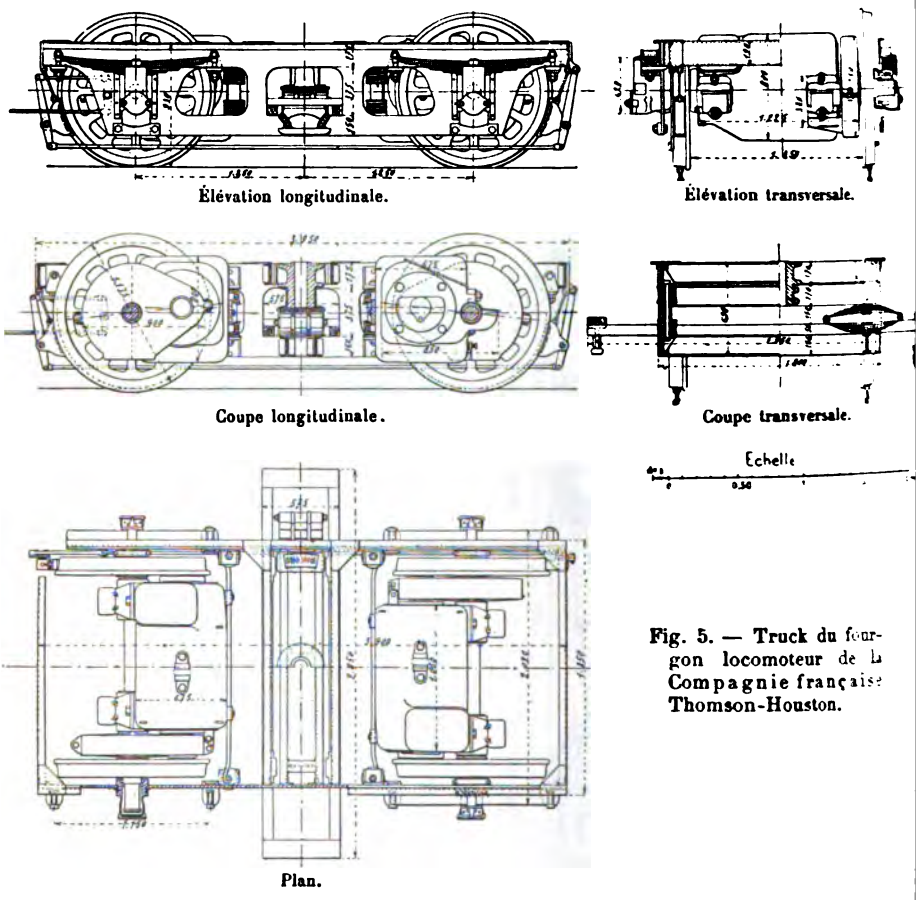



Fig. 5. — Truck du fourgon locomoteur de la Compagnie française Thomson-Houston.

sage des paliers d'armature se fait à l'huile ; le lubrifiant en excès est recueilli dans une cavité inférieure formant puits. Les coussinets d'essieu, graissés de même, ont une longueur de 265 mm. et une largeur de 125 mm. Les quatre bobines inductrices sont enroulées en ruban plat isolé à l'amiante et au mica, comme l'enroulement induit.

L'équipement électrique comporte en outre 2 régulateurs de marche et leurs rhéostats, 2 interrupteurs principaux, 2 ampèremètres, 2 voltmètres, 1 disjoncteur automatique, 1 parafoudre, 2 prises de courant et les câbles de connexion nécessaires.

Digitized by Google

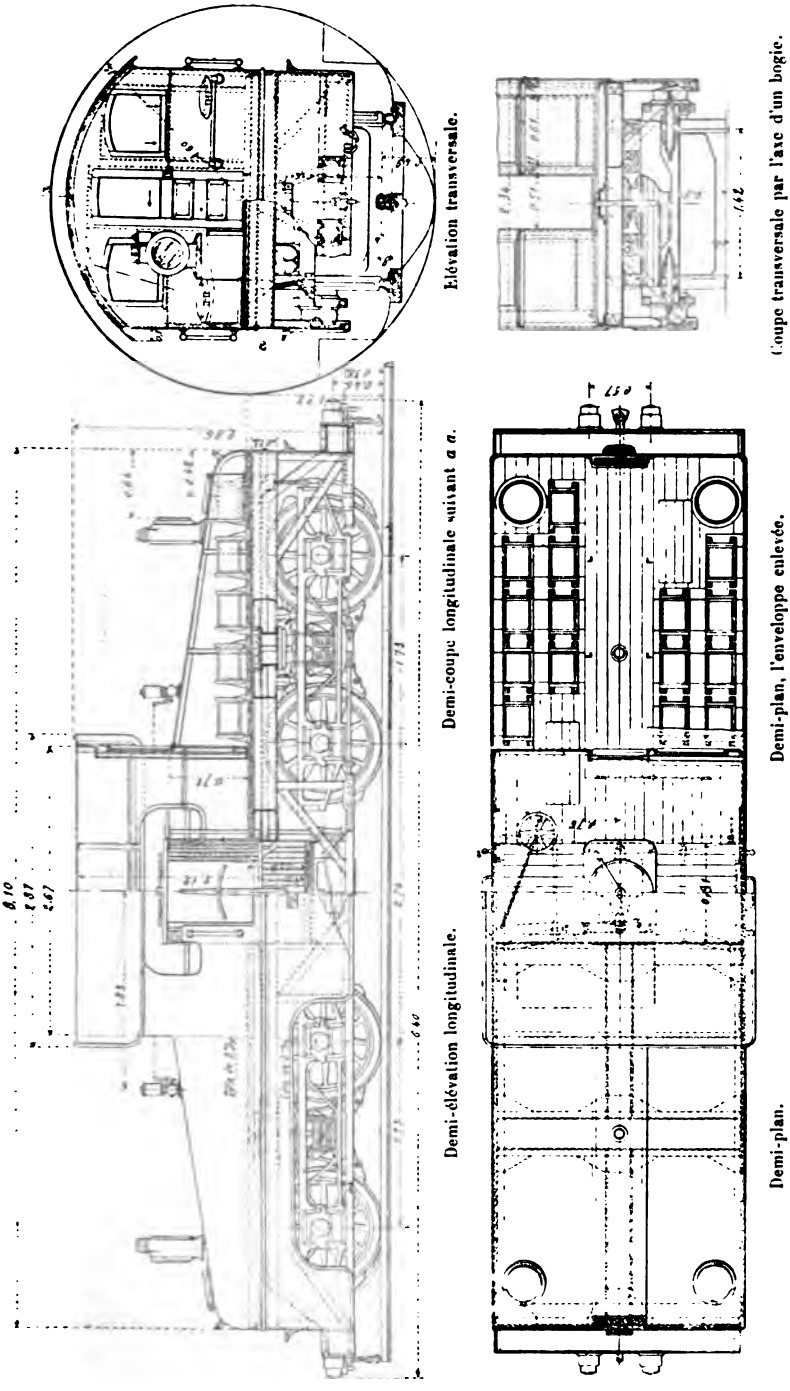
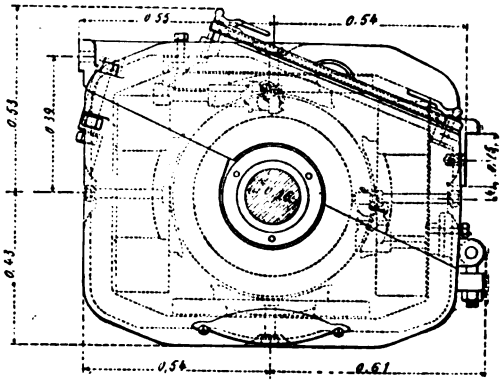


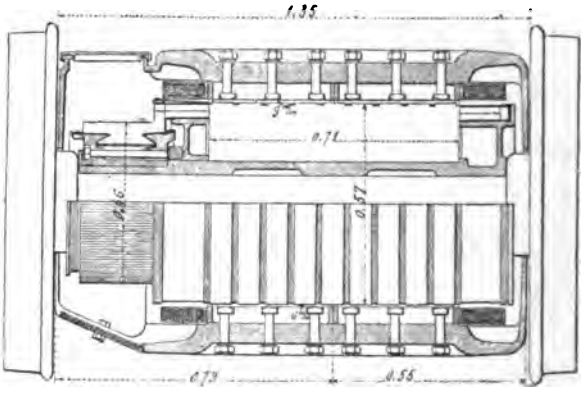

Fig. 6. — Locomotive du Central London Railway.

Digitized by Google

Les régulateurs sont du type série-parallèle pour 4 moteurs (voir t. II, p. 244) ; la manœuvre s'en fait à la main au moyen d'une manivelle commandant par engrenages 2 cylindres servant chacun au groupement de 2 moteurs ; les boîtes de résistance en tôles au nombre de 16, peuvent être logées sous le plancher du fourgon ou dans les cabines. Les prises de courant, formées




Élévation transversale.




Coupe longitudinale.

Fig. 7. — Moteur gearless des locomotives du Central London Railway.

de sabots en fonte reposant par leur poids sur les rails de contact, sont portées par des traverses isolantes en bois paraffiné.

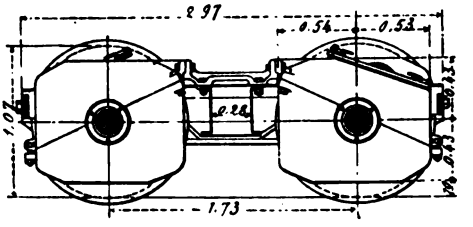
## II. — Locomotives

Nous citerons notamment comme types intéressants de locomotives pour métropolitains ceux qui ont été étudiés par la *General Electric Co.* pour le Central London Railway et par la *Société Alsacienne de Constructions mécaniques* pour les lignes nouvelles de pénétration dans Paris.

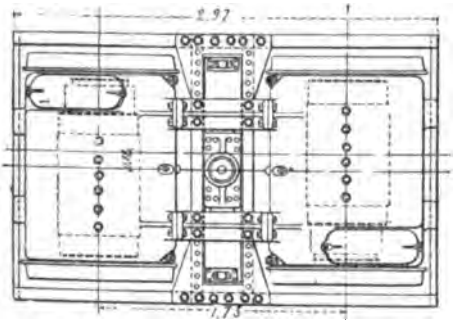
Digitized by Google

La première de ces machines (fig. 6) est très ramassée eu égard à sa puissance.

Il était difficile de loger dans l'étroit gabarit du tube donnant passage au chemin de fer et qui mesure seulement 3,50 m. de diamètre un véhicule moteur assez puissant, tout en employant les moteurs gearless auxquels tiennent absolument les ingénieurs anglais, comme nous l'avons déjà signalé (t. II, p. 589). Le problème a été résolu par l'emploi de deux bogies moteurs portant un châssis surbaissé muni au centre d'une cabine très basse pour le




Coupe longitudinale.




Plan.

Fig. 8. — Montage des moteurs des locomotives du Central London Ry. sur un bogie.

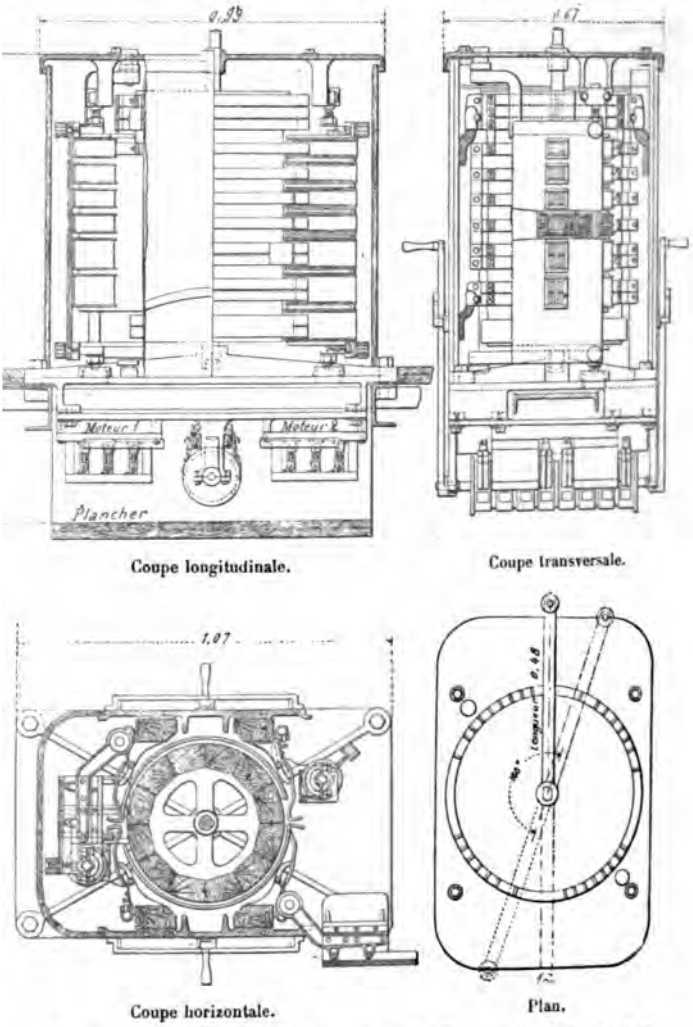
mécanicien ; à l'avant et à l'arrière sont deux chambres contenant les boites de résistances en tôle, et le tout est recouvert d'une enveloppe en tôle.

Les données de construction de cette machine sont les suivantes :

| | |
|---|---|
| Nombre d'essieux, tous moteurs . . . . . | 4 |
| Diamètre des roues . . . . . | 1,067 m. |
| Empattement des bogies. . . . . | 1,73 — |
| Distance entre les pivots des bogies . . . . . | 4,27 — |
| Empattement total de la locomotive . . . . . | 6,33 — |
| Longueur totale. . . . . | 9,05 — |
| Hauteur extrême . . . . . | 2,965 — |
| Poids sur chaque essieu, environ . . . . . | 11,5 t. |
| Poids total de la locomotive, environ . . . . . | 46 — |
| Effort de traction maximum . . . . . | 6 350 kg. |
| Effort de traction normal à la vitesse de 35 km. : h. | 3 630 — |

Digitized by Google

es moteurs (fig. 7 et 8) sont à arbre creux enfilé directement sur l'essieu, occupent entièrement l'espace libre entre les roues. Ils sont à 4 pôles, à asse fermée ; celle-ci peut s'ouvrir suivant une diagonale ; pour gagner a place en hauteur, on a réduit les bobines des pôles inférieur et supérieur




Coupe longitudinale. Coupe transversale.

Coupe horizontale. Plan.

Fig. 9. — Régulateur des locomotives du Central London Railway.

rofit de celles des pôles latéraux. L'armature a 0,571 m. de diamètre ese 1 360 kg. ; d'autre part la carcasse et les inducteurs pèsent 3 840 kg., ui fait en tout 5 210 kg. pour chaque moteur.

s moteurs sont groupés par paires en parallèle sur chaque bogie et on ique aux deux groupes ainsi formés la méthode série-parallèle. Le régu-



ur fig. 9), auquel on a donné de tri
ments à commuter, rentre dans les
. comporte un grand cylindre comi
nombre des touches est de 22.

La figure 10 donne les courbes de fonc
ions sur un bogie à roues de 1,219
ous haut, ces roues ont été réduite
e rendement des moteurs en march
ves équipées avec 4 moteurs doiven
ns de 7 voitures de 15 t. offran

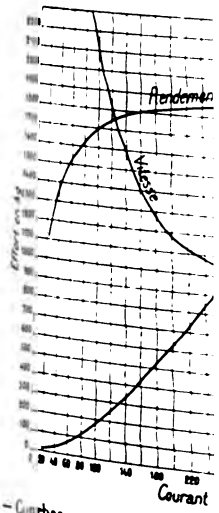



Fig. 10. — Courbes caractéristiques d'
Railway coup

locomotives de 600 chev. projeté
fférents.

premier (fig. 11), assez analog
ect, attaqués chacun par un m
m. de diamètre, les essieux
ngitudinal total atteint 5,80 m.
moteurs, à 6 pôles, sont décrits
150 chev. à la vitesse angulair
régulateur permet de faire la mi
ur et de graduer la vitesse p
les mêmes particularités d
Société, décrit au chapitre X
composé d'une boîte en fonte
les commutateurs de chang
Les commutateurs sont mo
de chaque extrémité de la
commandés par une série

Digitized by Google

lateur (fig. 9), auquel on a donné de très grandes dimensions en vue des forts courants à commuter, rentre dans les types ordinaires de la General Electric Co.; il comporte un grand cylindre commutateur et un petit cylindre inverseur; le nombre des touches est de 22.

La figure 10 donne les courbes de fonctionnement d'une des paires de moteurs montés sur un bogie à roues de 1,219 m. de diamètre ; comme nous l'avons dit plus haut, ces roues ont été réduites, en exécution, à 1,067 m.

Le rendement des moteurs en marche normale est de 0,92 à 0,93. Les locomotives équipées avec 4 moteurs doivent remorquer à la vitesse de 23,3 km : h. des trains de 7 voitures de 15 t. offrant en tout 336 places.

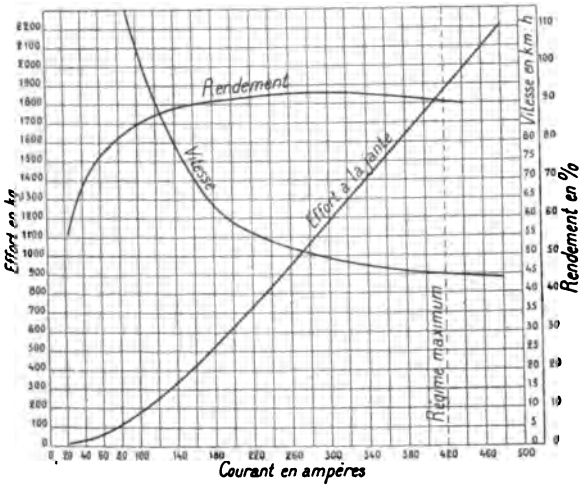



Fig. 10. — Courbes caractéristiques d'une paire de moteurs du Central London Railway couplés en parallèle.

Les locomotives de 600 chev. projetées par la *Société Alsacienne* sont de deux types différents.

Le premier (fig. 11), assez analogue au précédent, est à deux bogies à 2 essieux, attaqués chacun par un moteur E 30/35 à arbre creux ; les roues ont 1,240 m. de diamètre, les essieux de chaque bogie sont écartés de 2,10 m. et l'empattement total atteint 5,80 m.

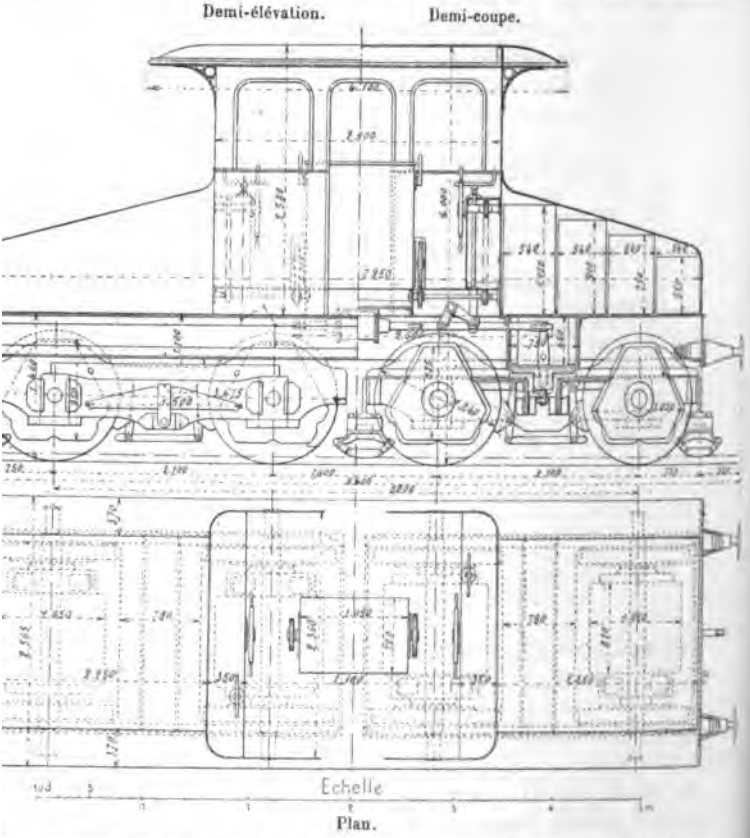
Les moteurs, à 6 pôles, sont décrits plus loin (annexe n° 2) ; ils développent chacun 150 chev. à la vitesse angulaire de 192 tours correspondant à 45 km : h.

Le régulateur permet de faire la mise en marche en avant et en arrière du locomoteur et de graduer la vitesse par la méthode série-parallèle ; il présente à peu près les mêmes particularités de construction que celui de tramways de la même Société, décrit au chapitre X (t. II, p. 248).

Il se compose d'une boîte en fonte contenant des interrupteurs de groupement et des commutateurs de changement de marche, ainsi que des plombs fusibles. Les commutateurs sont montés sur un même arbre, qui peut être manœuvré de chaque extrémité de la boîte au moyen d'un levier. Les interrupteurs sont commandés par une série de cames également montées sur un même

Digitized by Google

re et dont la denture a été tracée de manière à obtenir les manœuvres des
rrupteurs correspondant à chacun des groupements; ils sont formés de
ers portant à leur extrémité des pièces en bronze isolées, munies de doigts
alliques qui viennent fermer le circuit en glissant entre deux pièces en
nze d'amenée de courant. Devant chaque interrupteur est placé un électro-




1. — Locomotive à bogies de la Société Alsacienne de Constructions mécaniques.

it disposé de manière à souffler les arcs de rupture. Les deux arbres sont
uetés convenablement.

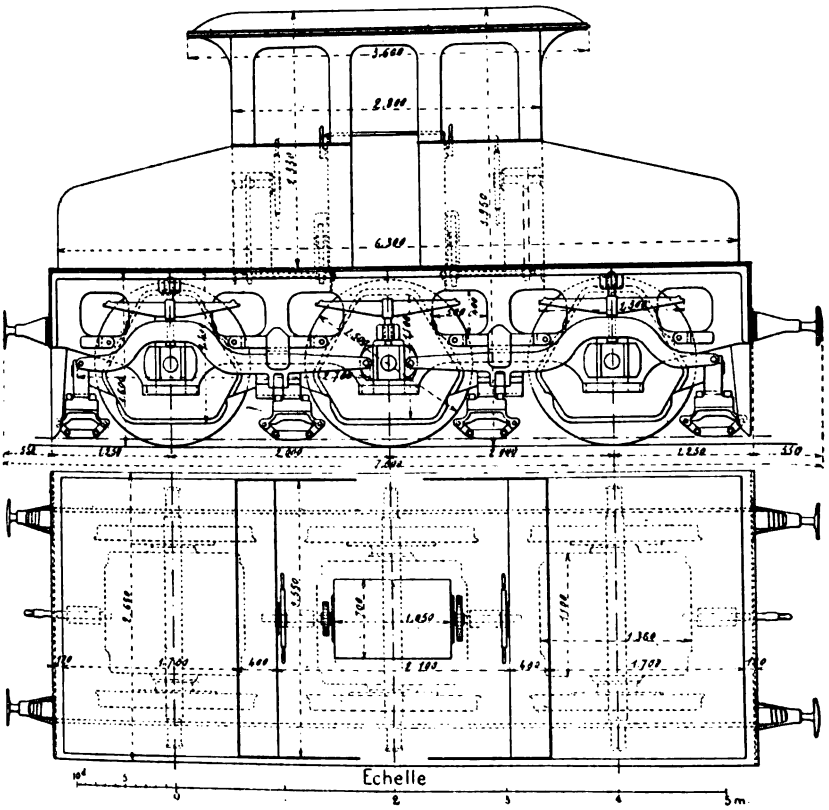
circuits ont été établis de manière qu'il ne passe jamais dans chaque
upteur que le quart du courant total lorsque les moteurs sont en quan-
'est à-dire lorsque l'intensité est maxima. En outre, au moment de l'arrêt,
rant est coupé en 8 points différents par 8 interrupteurs en série.

manœuvre de la locomotive se fait d'une extrémité ou de l'autre de la
montée sur le châssis. Le mécanicien trouve devant lui un volant à
tes actionnant le régulateur, le robinet de manœuvre du frein Westing-
, la manivelle du frein auxiliaire, et derrière lui, à portée de sa main, le
de changement de marche.

Digitized by Google

Le volant de commande est réuni au régulateur par un arbre de transmission placé sous le plancher de la locomotive ; le mouvement est transmis par l'intermédiaire d'une chaîne de Galle et de roues dentées, de façon que le mécanicien fasse toujours la mise en marche en tournant la roue dans le même sens, quelle que soit sa position, à l'avant ou à l'arrière de la machine.

Élévation.




Plan.

Fig. 12. — Locomotive à trois essieux de la Société Alsacienne de Constructions mécaniques.

La locomotive est en outre munie d'un interrupteur de sûreté destiné à couper le courant total dans le cas où il se produirait quelque accident empêchant d'arrêter les moteurs par les moyens ordinaires, de disjoncteurs automatiques (1 par moteur) se déclenchant lorsque le courant du moteur atteint une intensité dangereuse, d'interrupteurs de shuntage commandés par un seul levier, qui permettent d'augmenter momentanément la vitesse des moteurs, et enfin de résistances montées dans des cages en fer et placées à chacune des extrémités du véhicule ; ces dernières sont composées de bandes de maillechort maintenues écartées par des tendeurs isolés sur porcelaine. La

Digitized by Google

ur de la résistance totale est de 2,2 ohms; elle est divisée en 4 parties es qui servent soit à la mise en marche des moteurs, soit à leur shuntage. appareillage électrique est complété par un parafoudre, 4 ampèremètres ar moteur) et 1 voltmètre apériodiques.

ı figure indique la disposition générale de l'abri, la commande du cou- r, du frein, etc.

ı machine doit peser, complète, 39 t.

: second type de locomotive de la Société Alsacienne (fig. 12) diffère du pre- : en ce qu'il n'a que 3 essieux, actionnés chacun par un moteur E 40/55 ıpolaire de 200 chev. ; la puissance totale est la même, ainsi que la cons- tion et le montage des moteurs et le mode d'attaque des roues, qui ont ,50 m. de diamètre ; l'empattement total de la machine est de 4 m. Pour ste, l'équipement est identique à celui que nous venons de décrire. Le s de la locomotive en ordre de marche est de 36 t.

**ımarque sur les régulateurs pour locomotrices ou locomotives de métro- :ains.** — Les régulateurs pour métropolitains sont d'une construction par- ièrement difficile, à cause des gros courants qu'ils ont à commuter. L'expé- ce a montré jusqu'ici que le seul procédé efficace pour l'extinction des arcs upture dans ces grands appareils est le procédé du soufflage magnétique Prof. E. Thomson. La bobine de l'électro-aimant souffleur ne dépense ne énergie insignifiante, et, comme elle est en série avec le circuit des eurs, l'intensité du champ magnétique croît d'elle-même avec celle du cou- à commuter. Les régulateurs construits d'après ce système sont simples, ıstes et efficaces, même pour les plus grosses locomotives, et, jusqu'à vel ordre, il faut rejeter tous les autres systèmes.

'est particulièrement désirable pour cette application que les mises en che, qui doivent être aussi rapides que possible, soit effectuées d'une façon continue et régulière. Le plus sûr moyen d'obtenir ce résultat sans comp- ur l'habileté plus ou moins grande du mécanicien, c'est de recourir à des ositifs automatiques.

*F.-J. Sprague*, dans son intéressant système de train d'automobiles (voir p. 263 et 584), emploie dans ce but un dispositif analogue à celui de ses ıseurs : il suffit d'actionner un poussoir pour que le train parte avec ıs ses résistances et ses moteurs en série et qu'au fur et à mesure de l'accé- ion les combinaisons se fassent au moment voulu; de cette manière, le ınicien ne joue aucun rôle et le démarrage est toujours très doux, sans ısses, malgré une accélération très rapide. M. *Short* arrive à un résultat valant d'une façon plus simple, en ajoutant au régulateur un enclenche- commandé par un électro-aimant parcouru par le courant principal et ıe permet au mécanicien de pousser la manette que cran par cran et ue le courant ne risque pas de dépasser pendant ce changement une r maxima fixée.

remarquera qu'en général il n'est pas nécessaire que le régulateur per- de ralentir par retour progressif de la manette en arrière; il suffit qu'on e la ramener au zéro en approchant de la station d'arrêt.

---

ANNE

RENSEIGNEMENTS

CONSTRUCTION DES

Pour compléter les généralités qu construction des moteurs de tracti construction s'appliquant à cinq 200 chev., en laissant de côté ceu emples assez nombreux. L'étude emple de calcul dans l'annexe su Tous ces moteurs sont alimentés

Moteur Labour de 6 chevaux p bour, auxquels nous n'avons pu ouvrage (t. I, p. 27), sont con ne les puissances variées, notam leur légèreté et leur longueur employer sur les voies les plus lque les dispositions et les dir ches d'Albi, etc., sur des voies d Tous ces moteurs sont à 4 pôle ire réduire la réaction d'induit ondermées contenant chacune ur exemple, on emploie un i ıximes au collecteur. Les palier l'induit, la longueur du moteu ıx portés par un collier démont ı disque de fermeture, en une ou ı pince le palier d'arbre ; ce couv induit, mais encore la visite du ı les paliers d'essieu sont venus chine sont à bague et fermés a ette d'huile que dans des man ıs engrenages cylindriques pré

ıt avec intention que nous co ıns cet exemple apprendre aux ıvoir, qu'il existe encore dans no ıment bien, les dispenser de pa

TRACTION ÉLECTRIQUE.

Digitized by Google

# ANNEXE N° 2

## RENSEIGNEMENTS COMPLÉMENTAIRES

SUR LA

## CONSTRUCTION DES MOTEURS DE TRACTION

Pour compléter les généralités que nous avons exposées au chapitre V sur la construction des moteurs de traction, nous indiquerons ici quelques données de construction s'appliquant à cinq moteurs de puissance variée, 5, 15, 80, 150 et 200 chev., en laissant de côté ceux dits de 25 chev. dont nous avons cité des exemples assez nombreux. L'étude d'un moteur de 50 chev., qui nous servira d'exemple de calcul dans l'annexe suivante (annexe n° 3), complétera la série.

Tous ces moteurs sont alimentés à 500 volts.

I. **Moteur Labour de 6 chevaux pour locomotives de mines** [1]. — Les moteurs *Labour*, auxquels nous n'avons pu faire qu'une courte allusion dans le cours de cet ouvrage (t. I, p. 27), sont construits par la Société *L'Éclairage Électrique* pour des puissances variées, notamment 6, 12 et 24 chev. Tous sont remarquables par leur légèreté et leur longueur exceptionnellement réduite qui permet de les employer sur les voies les plus étroites. Le type de 6 chev., dont la figure 13 indique les dispositions et les dimensions principales, est employé dans les mines d'Albi, etc., sur des voies de 0,60 m.

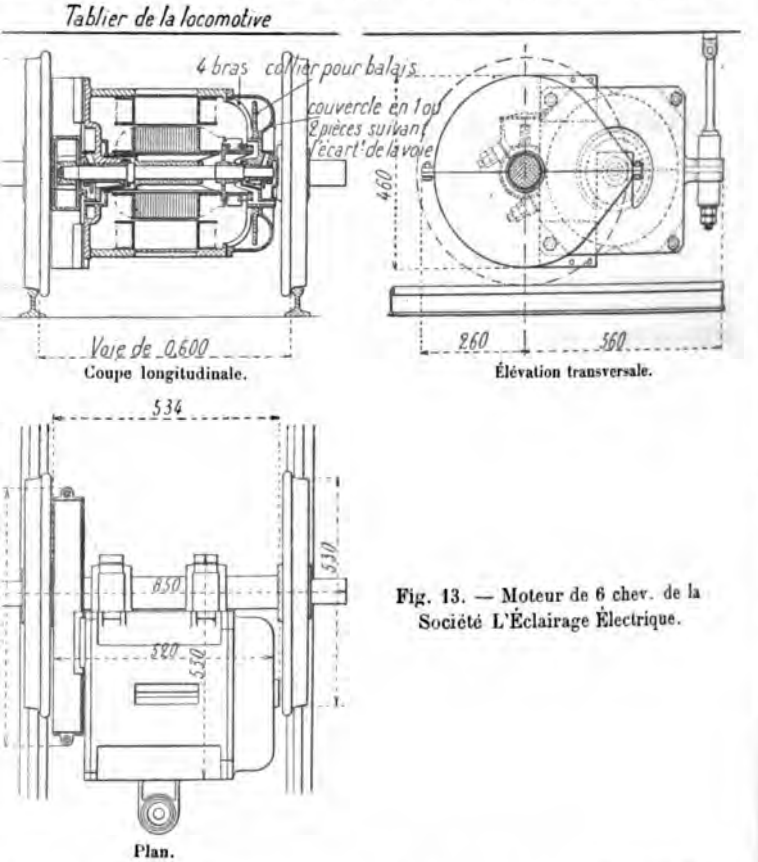
Tous ces moteurs sont à 4 pôles inducteurs symétriques, à noyaux fendus, pour réduire la réaction d'induit (voir t. I, p. 163). L'induit est à encoches semi-fermées contenant chacune plusieurs sections (2 ou un multiple de 2); par exemple, on emploie un induit à 24 encoches avec 48, 72, 96 ou 120 lames au collecteur. Les paliers pénétrant très avant à l'intérieur des bases de l'induit, la longueur du moteur se trouve très réduite. Les balais en charbon sont portés par un collier démontable. La carcasse s'ouvre seulement en bout; le flasque de fermeture, en une ou deux pièces, se trouve du côté du collecteur et porte le palier d'arbre; ce couvercle permet non seulement le démontage de l'induit, mais encore la visite du collecteur et des balais; l'autre palier d'arbre et les paliers d'essieu sont venus de fonte avec la carcasse. Les deux paliers d'arbre sont à bague et fermés aux deux extrémités ; ils ne peuvent laisser perdre d'huile que dans des manchons étanches, la conduisant à l'extérieur. Les engrenages cylindriques présentent les dispositions usuelles. Les paliers

[1] C'est avec intention que nous commençons par un moteur complètement français; puisse cet exemple apprendre aux grandes maisons de construction, qui semblent l'ignorer, qu'il existe encore dans notre pays des ingénieurs qui pourraient, si elles le voulaient bien, les dispenser de payer des redevances à leurs concurrents étrangers.



Digitized by Google

ieu sont graissés à l'huile par mèche ou à la graisse ; les coussinets recouverts et bien protégés de la poussière. La suspension « par le » est du type ordinaire ; l'attache de la carcasse avec le truck est faite ine bielle avec deux ressorts à boudin ou des rondelles en caoutchouc.




Coupe longitudinale.

Élévation transversale.

Plan.

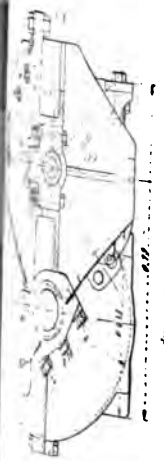
Fig. 13. — Moteur de 6 chev. de la Société L'Éclairage Électrique.

données pratiques de construction sont les suivantes, en marche normale :

| | | | |
|---|---|---|---|
| Puissance du moteur en chevaux. | 6 | 12 | 24 |
| Largeur de la voie en mètres . . | 0,60 | 0,80 | 1,00 |
| Diamètre des roues en mètres. . | 0,60 | 0,70 | 0,80 |
| Vitesse en km : h. . . . . | 9 | 12 | 15 |
| Nombre de tours de l'essieu. . | 80 | 90 | 100 |
| Nombre de tours de l'arbre . . . | 560 | 540 | 500 |
| Poids du moteur en kg. . . . . | 250 | 450 | 850 |

**Moteur de tramways de 15 chevaux des Ateliers d'Oerlikon.** — Le r de tramways de 15 chev. de la *Société d'Oerlikon* (fig. 14), déjà cité ge 228 (t. I), est à 4 pôles, avec armature en anneau, bobinée en série, et

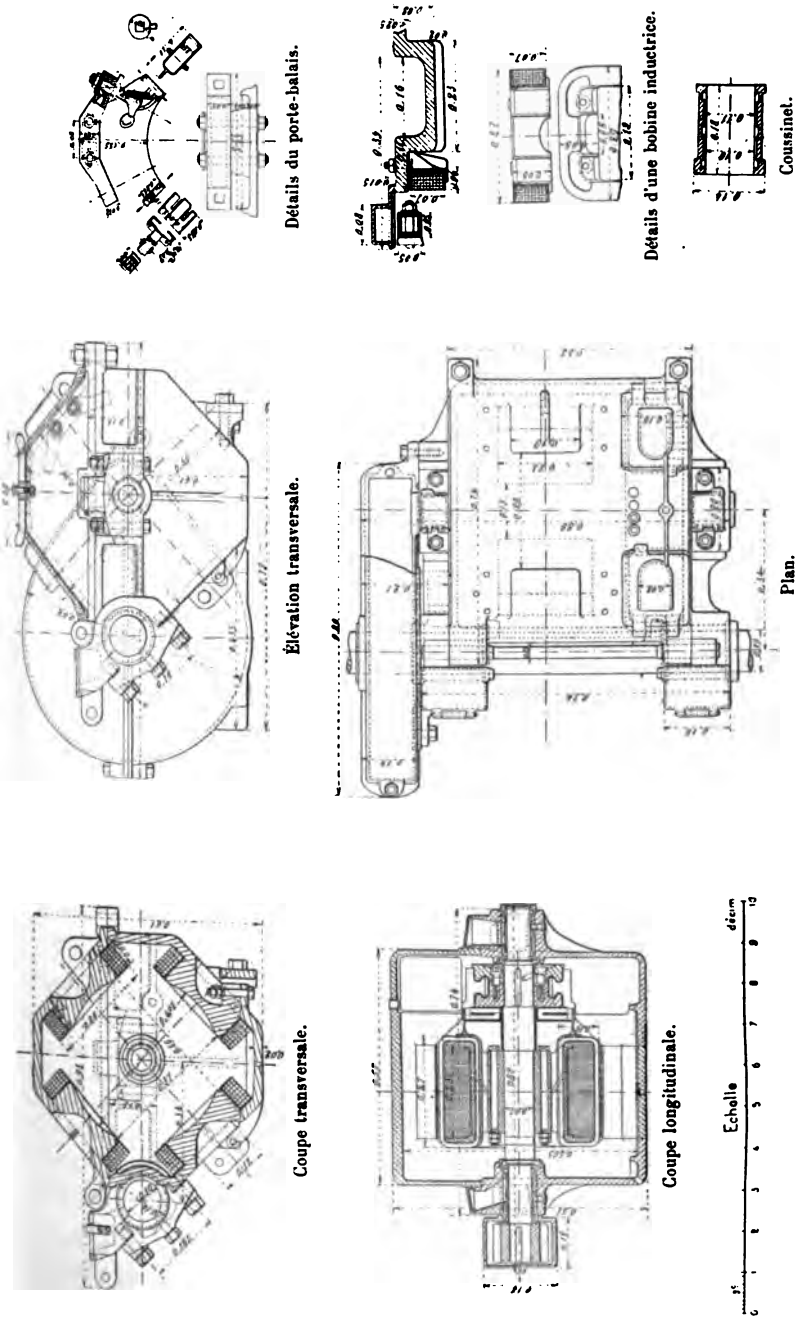
Détails du porte-balais.



Élévation transversale.

Coupe transversale.

Digitized by Google




Digitized by Google

x fois plus de touches au collecteur que de bobines (59 rainures, touches). Chaque bobine est formée de 16 spires en fil de 2 mm. (3, 14 mm²), vant supporter momentanément 12,5 amp., soit 25 amp. pour le moteur. connexions entre bobines sont faites à l'aide de fourches en ruban de re placées entre l'induit et le collecteur.

es inducteurs sont formés de 4 pôles symétriques venus de fonte avec une asse entièrement fermée. Le plan de section est horizontal et passe au-sus des paliers. Deux larges trappes sont ménagées sur les côtés de la ni-cuirasse supérieure et une au bas de la demi-cuirasse inférieure. Les obines inductrices, toutes semblables, sont plus longues que les pôles pour ser la place de l'induit.

e coefficient de réduction est de 1 : 4,9. Avec des roues de 0,78 m. de dia-

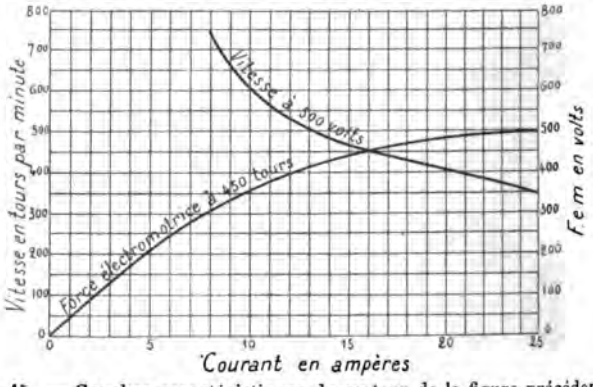



Fig. 15. — Courbes caractéristiques du moteur de la figure précédente.

re, quand la vitesse du véhicule est de 15 km : h. la vitesse du moteur est 500 tours par minute et celle de l'essieu de 102.

a résistance de l'induit est de 1,1 ohm et celle des inducteurs de 1,65 ohm, en tout 2,75 ohms. Le rendement normal est de 0,73. Au régime forcé de amp., chaque moteur donne 145 kg. d'effort à la jante.

es courbes de la figure 15 donnent les caractéristiques d'excitation et la sse en fonction du courant.

**II. Moteurs de 80 chevaux de la General Electric Co.** (1897) **pour lignes suburbaines.** — Les moteurs G. E. 51 et 51 B sont construits pour les lignes suburbaines métropolitaines à grande vitesse ; ils donnent 80 chevaux avec un échauffement 75° C. au-dessus de la température ambiante au bout d'une heure. Deux eurs 51, avec réduction de 1 : 1,74, remorquent des trains de 25 à 30 t. à la sse de 65 à 60 km : h. ; deux moteurs 51 B, avec réduction de 1 : 2,27, remorent des trains de 20 t. à 42 km : h. Comme le moteur occupe toute la largeur truck, les freins électromagnétiques ne peuvent être employés que quand voitures sont à bogies.

a construction des inducteurs cuirassés est analogue à celle du G. E. 1000, s ils enveloppent même l'essieu (fig. 16). Tous les paliers sont du type des ers d'essieu des chemins de fer américains et lubrifiés à l'huile à l'aide n réservoir inférieur rempli de déchets de laine.

Digitized by Google

L'armature peut être élevée ou abaissée à l'aide de boulons de réglage. Elle est du type ordinaire de la General Electric Co., et a un collecteur à 111 touches; chaque porte-balais contient deux balais de 50 mm. de largeur et 15 mm. d'épaisseur.

Deux autres moteurs, le G.E., 52 et le G. E. 57, construits d'une façon ana-

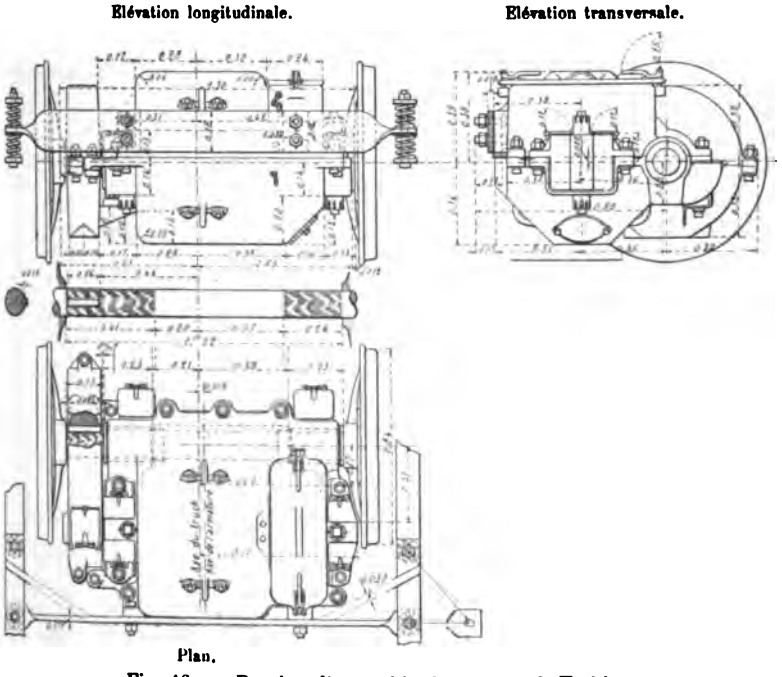



Fig. 16. — Dessins d'ensemble du moteur G.E. 51.

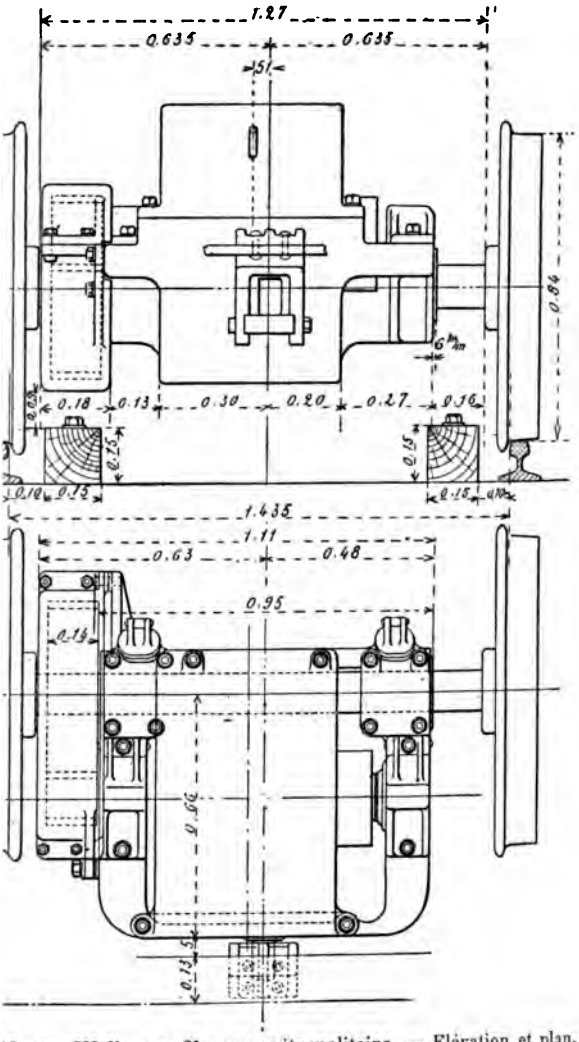
logue pour des puissances plus faibles, sont destinés au service des tramways lourds et accélérés.

Le tableau ci-dessous résume quelques données de construction de ces quatre machines, qui complètent la liste des moteurs G. E. donnée plus haut (p. 191).

| TYPE | PUISSANCE normale en chev. | DIMENSIONS de l'induit en mm. | | NOMBRE de sections. | COEFFICIENT de réduction. | DIMENSIONS des coussinets en mm. | POIDS du moteur en kg. | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Diamètre. | Longueur. | | | | Seul. | Avec ses engrenages. |
| G.E. 51 | 80 | » | » | 111 | 1,74 | 295 × 102 | 1 610 | 2 160 |
| G.E.51B. | 80 | » | » | 111 | 2,27 | » | » | » |
| G.E. 57 | 50 | 356 | 305 | 99 | 3,72 | 222 × 82; 162 × 73 | 1 120 | 1 350 |
| G.E. 52 | 28 | 279 | 229 | 87 | 4,78 | 197 × 70 ; 162 × 64 | 667 | 780 |

Digitized by Google

; présentent quelques particularités de construction, notamment
; bobines par trois dans chaque encoche, ce qui a réduit celles-ci
t nombre (37 encoches, 111 touches au collecteur) et a nécessité

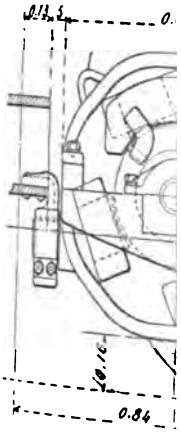



Moteur Walker n° 25 pour métropolitains. — Elévation et plan.

ces polaires feuilletées pour éviter les courants de Foucault.
à réduire le nombre des dents des armatures est générale
mérite d'être notée.

**Valker de 200 chevaux à engrenages pour métropolitains.** — Le
n° 25, qui complète la série énumérée plus haut (p. 211), peut
la locomotrice décrite à l'annexe précédente une puissance de

et un effort de traction
une vitesse maxima de
pour qu'on puisse loger deux
tement. Comme il est des
craindre ni eau, ni pouss
aux deux bouts, ce qui au



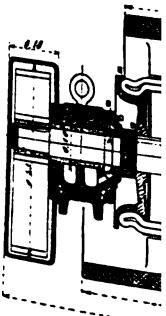


Fig. 17. — Moteur Walker n

p. 100 sur la puissanc
ment à son poids.
figure 17 indique les princip
adoptées permettent d'en f
sous la voiture, puis so
supérieure de la carcasse ind
qui reste avec ses paliers et l
que portent les paliers
cette carcasse avec l'arm
l'armature avec ses paliers
à la carcasse.
sélecteurs comprennent 4 pô

Digitized by Google

200 chev. et un effort de traction de 2 300 kg. à la vitesse de 29 km : h. Il supporte une vitesse maxima de 96 km : h. Son encombrement est assez réduit pour qu'on puisse loger deux unités semblables sur des bogies de 1,838 m. d'empattement. Comme il est destiné surtout aux chemins de fer aériens, où l'on n'a à craindre ni eau, ni poussière, on a pu laisser la cuirasse entièrement ouverte aux deux bouts, ce qui augmente assez le refroidissement pour faire

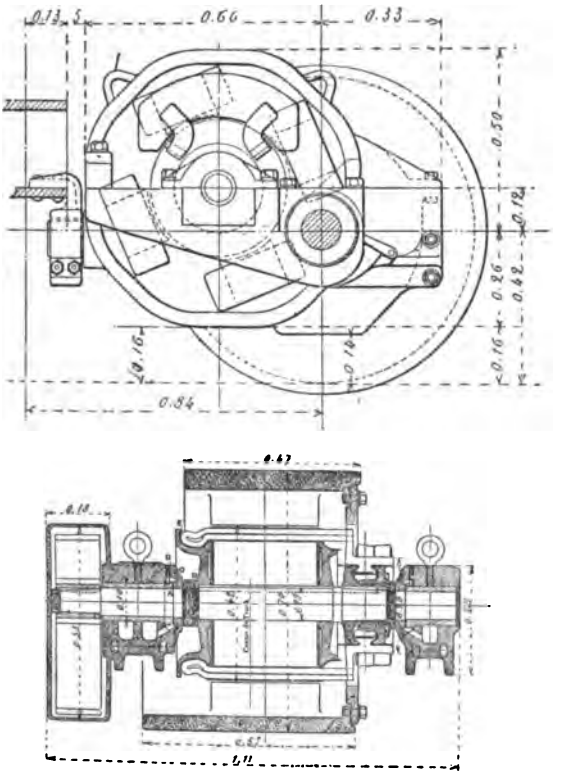



Fig. 17. — Moteur Walker n° 25 pour métropolitains. — Coupes.

gagner 20 p. 100 sur la puissance; aussi est-ce un appareil très puissant relativement à son poids.

La figure 17 indique les principales dimensions de ce moteur. Les dispositions adoptées permettent d'en faire facilement le démontage en retirant le bogie de sous la voiture, puis soulevant à l'aide d'un appareil de levage la moitié supérieure de la carcasse inductrice ; on met ainsi à découvert l'armature, qui reste avec ses paliers et la demi-carcasse inférieure; les deux boulons à œil que portent les paliers permettent alors soit de laisser descendre doucement cette carcasse avec l'armature dans une fosse, soit au contraire de soulever l'armature avec ses paliers après avoir dévissé les boulons qui fixent ces derniers à la carcasse.

Les inducteurs comprennent 4 pôles radiaux et égaux ; ils portent chacun

Digitized by Google

ne bobine montée sur forme et composée d'un petit nombre de spires (35) en
os ruban de cuivre.

L'essieu passe entre deux pôles et a pu être ainsi rapproché beaucoup de
arbre, ce qui permet l'emploi d'engrenages de petit diamètre et dégage
eaucoup le truck. Le coefficient de réduction est de 1 : 4,4 (66 dents à la roue,
; au pignon). Les coussinets du moteur et des boîtes à huile sont en bronze
lubrifiés à l'huile au moyen de tampons de coton trempant dans un puits
férieur ; après usage, l'huile est retournée intégralement au réservoir. Les
ortées de l'arbre et de l'essieu sont très longues et de grand diamètre, de
çon que la pression est réduite à 2,59 kg. par centimètre carré.

La boîte à engrenages est en fonte et en deux parties ; la moitié inférieure
t fixée invariablement à la carcasse.

L'armature est de grandes dimensions, munie de rainures profondes, et con-
ent un enroulement en barres plates ne présentant qu'une spire par touche
collecteur ; la réaction magnétique de l'induit est ainsi réduite au mini-
um.

L'enroulement est fait en série avec connexions en hélice. Malgré l'allonge-
ent de l'induit qui en résulte, le moteur est assez court, grâce à la forme
rplombante des embases dans lesquelles rentrent les paliers. Cet enroule-
ent de M. Short, dit « en tonneau », diffère, comme on le voit, de celui
Eickemeyer que nous avons décrit de préférence au chapitre V ; il est aussi
antageux et peut même être préféré à certains égards à cause de la facilité
frettage des extrémités des bobines. Celles-ci sont d'ailleurs protégées
ntre les poussières et les avaries mécaniques par une coquille en fonte ; du
té du collecteur, cette coquille est coupée et les retours d'équerre des barres
mplissent le même rôle de protection, en même temps qu'ils empêchent
ute formation d'arcs entre les balais et les enroulements. De longues lames
mica séparent les barres du collecteur de l'arbre et rendent impossible
ute mise à la terre de ce côté.

L'enroulement est fait à raison de 3 sections dans chaque encoche ; il y a
encoches et $3 \times 73 - 1 = 218$ barres au collecteur. Une des bobines est
issée hors du circuit, comme d'habitude, pour que l'enroulement puisse se
rmer sur lui-même. Chaque encoche a 40 mm. de profondeur et 8 mm. de lar-
ur ; elle est garnie d'une auge en micanite de 1,32 mm. d'épaisseur et contient
rubans, les 3 du bas faisant partie d'une série de bobines et les 3 du haut
la série complémentaire. Le ruban plat employé a 15,22 mm. de hauteur
1,143 mm. d'épaisseur ; il est recouvert d'une enveloppe isolante de $\frac{35}{100}$ de
illimètre d'épaisseur. Les rubans parallèles sont séparés par un carton de
$\frac{8}{00}$ de millimètre ; les deux couches de spires sont séparées à leur tour
ur un carton de $\frac{114}{100}$ et le fond de l'auge est garni d'un carton de $\frac{38}{100}$. Le
ut de l'encoche est rempli par une latte de bois de 4,57 mm. de hauteur,
tenue par des frettes serrées sur les extrémités de l'induit. L'armature est
veloppée d'une toile imperméable bien ajustée.

Chaque barre de collecteur porte deux connexions, l'une avec un des con-
cteurs supérieurs, l'autre avec un des conducteurs inférieurs. La figure 17 *bis*
ontre le schéma du bobinage et des connexions.

La carcasse est munie de 4 poi
eu du haut, soit aux deux du l
La figure 18 donne les courbes

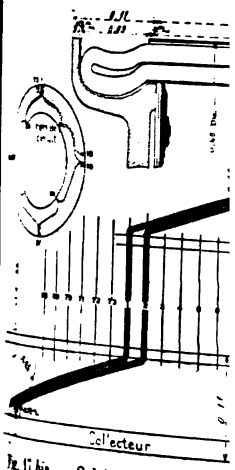



Fig. 17 bis. — Schéma du bobinag

à côté, à titre de comparai
décrit précédemment (t. I,
qu'un courant plus faib

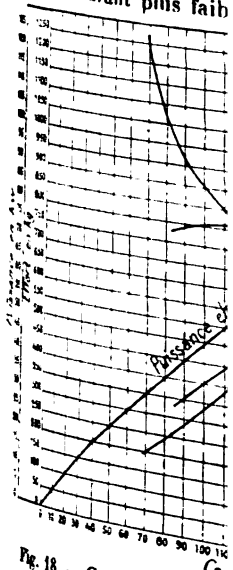



Fig. 18. — Courbes de fon

réduction est seulement d
de l'induit au détrimen
bon exemple de ce qu'
moteur puissant à engrei

Digitized by Google

La carcasse est munie de 4 porte-balais ; on peut fixer les balais soit aux deux du haut, soit aux deux du bas, suivant qu'on le préfère.

La figure 18 donne les courbes de fonctionnement de ce moteur; nous avons

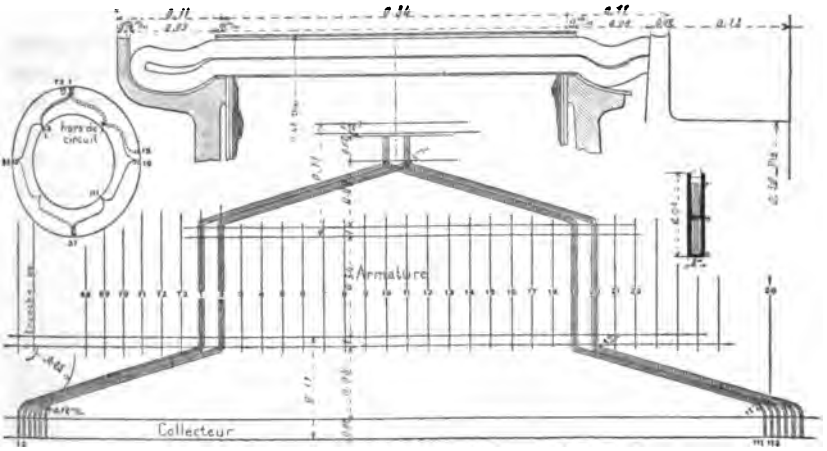



Fig. 17 *bis*. — Schéma du bobinage et des connexions du moteur Walker n° 25.

placé à côté, à titre de comparaison (fig. 19), les courbes du moteur Walker n° 20, décrit précédemment (t. I, p. 212). Ce dernier, presque aussi lourd, ne supporte qu'un courant plus faible, parce qu'il tourne moins vite (le coeffi-

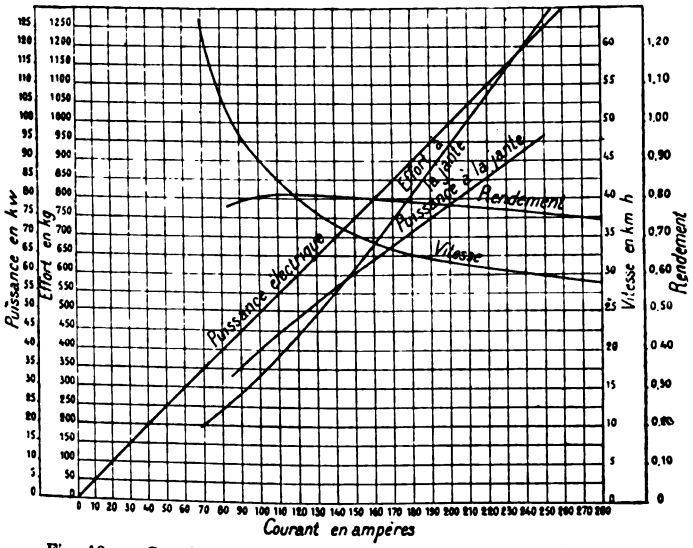
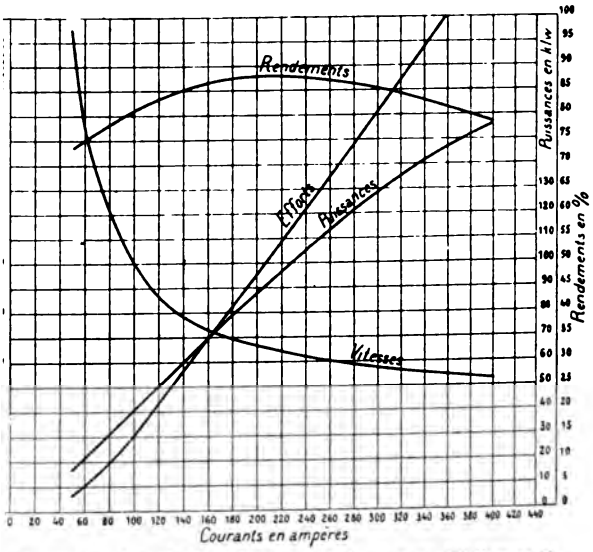



Fig. 18. — Courbes de fonctionnement du moteur Walker n° 25.

cient de réduction est seulement de 1 : 3,32), ce qui force à augmenter le nombre de spires de l'induit au détriment de leur section. Le moteur n° 25 présente donc un bon exemple de ce qu'on peut réaliser comme minimum de poids pour un moteur puissant à engrenages.

Digitized by Google

**s de 150 et 200 chevaux sans engrenages de Siemens et Halske et é Alsacienne pour métropolitains.** — Les moteurs mentionnés ›. 668) de la *Société Alsacienne*, qui sont excités en série, déve- chev., en prenant 225 amp. sous 550 volts, à la vitesse de 192 pondant à 45 km : h. Ils sont analogues aux moteurs « gearless » à décrits (p. 147) et à ceux des locomotives de Baltimore (p. 453). e immobile formant inducteurs (fig. 20) est fixée au châssis du rtie mobile, comprenant l'induit et le collecteur, est montée sur acier portant les croisillons d'entraînement qui agissent sur les roisillons sont formés de 6 bras rapportés sur deux plateaux fixés




19. — Courbes de fonctionnement du moteur Walker n° 20.

trémité du tube ; ils pressent contre un système de ressorts à à l'extérieur des roues et par conséquent faciles à visiter ; ces bandés avec une tension initiale et retenus par des taquets venus le plateau de la roue ; un anneau en fer maintient tous les res- , et l'ensemble peut être recouvert par une tôle mince attachée à la roue.

collecteur, l'anneau qui reçoit les bras d'entraînement doit être ur l'extrémité du tube pour permettre d'enfiler au préalable les ıbour du collecteur.

on noyau formé de tôles dentées, clavetées sur le tube et serrées plateaux d'extrémité, et son enroulement composé de barres de usement isolées par une épaisseur de 1,5 mm. de mica et te ; ces barres forment deux rangs superposés ; elles sont cin- extrémité de l'induit et soudées entre elles de façon à former ntinu ; d'un côté, ces soudures se font directement dans des uniquant avec les secteurs du collecteur.

Digitized by Google

La partie cintrée des barres de l'enroulement repose avec interposition d'une couche isolante sur les plateaux d'extrémité, sur lesquels elles sont serrées fortement au moyen de frettes en fil d'acier.

Le collecteur est composé de lames en cuivre étiré isolés au mica, en nombre assez élevé pour que la tension moyenne entre deux lames consécutives ne dépasse pas 14 à 15 volts. Il a une longueur utile suffisante pour permettre

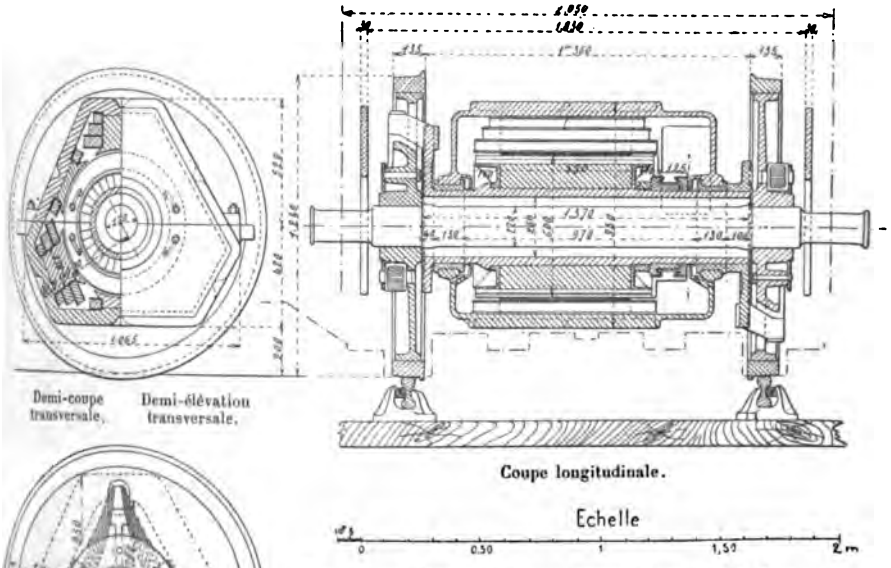



Fig. 20. — Moteur E 30/35 hexapolaire de 150 chev. de la Société Alsacienne de Constructions mécaniques.

Vue du système d'entrainement.

de capter normalement au moyen de balais en charbon un courant de 120 à 150 ampères par tourillon; il suffit donc de placer des balais sur 4 tourillons pour recueillir les 225 ampères qui correspondent à la puissance normale de 150 chev.

Les segments du collecteur sont maintenus au moyen d'un anneau de serrage divisé en un grand nombre de sections; chacune de ces sections d'anneau est vissée contre le tambour du collecteur et effectue un serrage sur un petit nombre de segments. On peut ainsi remplacer rapidement une lame quelconque sans démonter tout le collecteur.

On accède de l'extérieur aux balais par deux fenêtres pratiquées dans la culasse de part et d'autre du collecteur et qui ont une largeur de 200 mm. et une hauteur de 450 mm. Il est ainsi facile de régler ou de changer les charbons et de procéder à la visite et au nettoyage du collecteur.

Le rendement indiqué par les constructeurs est de 0,92 à 0,93, la densité du courant en charge moyenne dans l'induit étant de 2.5 amp. par millimètre carré.

Les moteurs E 40/55 de 200 chev. sont tout à fait analogues, mais un peu plus grands.

Digitized by Google

# ANNEXE N° 3

## EXEMPLE

DE

## CALCUL D'UN MOTEUR DE TRACTION

A COURANT CONTINU

(MOTEUR TÉTRAPOLAIRE DE 50 CHEVAUX

POUR LIGNE D'INTÉRÊT LOCAL)

*Généralités.* — Les ingénieurs non constructeurs, qui auront à employer des moteurs de traction, aimeront sans doute à se rendre compte de la façon dont on peut les calculer. Nous croyons donc intéressant de présenter ici un exemple de calcul de ce genre, inspiré des données de la pratique.

Pour effectuer le calcul d'un moteur de traction, le mieux est de se guider simplement sur les types existants de puissance analogue pour déterminer les dimensions générales, puis de choisir par tâtonnements les valeurs à adopter pour le nombre de spires et les sections du fil d'induit et d'inducteur, en prenant des densités de courant et de flux voisines de celles qu'a indiquées la pratique. On modifie les dimensions et les constantes jusqu'à ce qu'on ait obtenu les meilleurs résultats.

Cette méthode n'a pas un caractère absolument satisfaisant au point de vue théorique, car elle ne repose pas sur l'emploi d'une formule donnant directement les dimensions cherchées, mais bien plutôt sur l'expérience et le sentiment du constructeur. C'est cependant, en réalité, *la seule pratique* pour un travail de ce genre, étant donné surtout que les dimensions des moteurs sont limitées par la condition toute spéciale du faible emplacement disponible sur le truck, tandis que les méthodes de calcul a priori qu'on trouve souvent dans les livres sont en général peu faites pour la pratique.

Nous n'entrerons pas dans le détail des tâtonnements à faire pour la détermination des dimensions et des enroulements [1] ; nous exposerons seulement

[1] Il convient de rappeler à ce propos de quelle façon la puissance d'un induit dépend de ses dimensions.

La puissance électrique du moteur est proportionnelle à la f. é. m. normale et au courant qu'il peut supporter

$$P = EI = Nn\Phi \times I,$$

$n$ étant le nombre de tours par seconde, N le nombre de fils périphériques, $\Phi$ la somme des flux émis par les pôles positifs et I le courant total.

Si l'on appelle $\mathfrak{B}$ l'induction dans l'entrefer, S la section utile offerte au passage du flux sous un pôle, $2p$ le nombre de pôles, $\Delta$ la densité de courant dans le fil induit,

Digitized by Google

sous forme synthétique la dernière vérification, qui montre si le moteur calculé satisfait aux conditions d'un programme donné. Les tâtonnements antérieurs ne consistent qu'en vérifications analogues sur des données qui n'ont pas donné satisfaction aux auteurs du projet.

*Programme du calcul.* — Le programme consiste à déterminer un moteur de traction fournissant sur l'arbre en régime forcé, sous 500 volts et à la vitesse de 550 tours, un couple de 65 kilogrammètres ou, avec un rendement industriel de 0,867, une puissance de 50 chev. L'induit sera bobiné en anneau avec fourches de connexion pour permettre l'emploi de ruban de cuivre pour l'enroulement.

On se donne la répartition probable des pertes d'après l'expérience, soit ici hystérésis, 0,04; effet Joule dans l'induit et les inducteurs, 0,07; frottements dans les coussinets et résistance de l'air, 0,03. Les frottements des engrenages ne sont pas comptés, puisqu'il s'agit d'une puissance à fournir sur l'arbre ; on pourra les évaluer par la suite à 0,05 ou 0,07 et réduire le rendement global à 0,80.

On se donnera de même l'induction dans l'entrefer, $\mathfrak{B} = 1,3$ weber par mètre carré[1] (13000 c. g. s. à l'entrée des dentures) et les densités de courant maxima 4 à 5 amp. par millimètre carré dans l'induit et 2,5 amp. dans les inducteurs. On admettra un entrefer moyen de 3,5 mm. (3 mm. en haut, 4 en bas). Les tâtonnements ont conduit à adopter les dispositions de la figure 21, qui représente un moteur à induit de 0,38 m. de diamètre et de 0,30 m. de longueur ayant ses sections logées dans des encoches de 26 mm. de profondeur.

Nous allons commencer par vérifier la puissance de cet induit.

σ la section totale des fils répartis sur l'induit, on peut transformer cette expression en la suivante :

$$P = npS\mathfrak{B}\frac{\Delta\sigma}{2},$$

et, s'il s'agit comme ici d'un moteur tétrapolaire,

$$P = n\,(\mathfrak{B}\Delta)\,S\sigma.$$

$\mathfrak{B}$ et $\Delta$ étant en général donnés par des règles déduites de l'expérience, on voit que la puissance est sensiblement proportionnelle à la surface extérieure de l'induit (proportionnelle elle-même à S) et à la section totale σ du cuivre. On admet souvent que σ est une fonction connue du rayon, de la forme $Ar^2$, par exemple. Mais la constante A qu'il faudrait connaître, varie dans de trop grandes proportions avec le nombre d'encoches et des spires, l'épaisseur des isolants, la section des fils, etc., pour qu'on puisse lui attribuer une valeur a priori. En fait, on ne la connaît qu'une fois le moteur établi.

On voit par la dernière formule qu'on peut satisfaire à la puissance demandée par plusieurs solutions, suivant qu'on augmentera plus ou moins la longueur ou le diamètre de l'induit. On choisit par tâtonnements celle qui en même temps assure le meilleur rendement, en se guidant pour cela sur les règles empiriques qui fixent le rapport usuel à prendre entre ces deux éléments géométriques.

Pour la traction électrique, ce tâtonnement est le plus souvent impossible, par suite de la faible longueur dont on dispose pour le moteur ; celle-ci étant imposée par la largeur même de la voie, le diamètre de l'induit s'en déduit forcément et on ne peut le modifier que fort peu par quelques changements de bobinage.

[1] L'unité pratique de flux ou weber $= 10^8$ c. g. s. ; l'induction de 1 weber par $m^2 = 10000$ unités c. g. s. d'induction.

Digitized by Google

*Calcul de l'induit.* — La puissance à fournir aux bornes est

$$\frac{50}{0,86} = 58 \text{ chev.} = 42\,700 \text{ watts}$$

par suite le débit sous 500 volts est

$$I = \frac{42\,700}{500} = 85,4 \text{ ampères,}$$

t 42,7 ampères par demi-circuit.

On prendra comme largeur des encoches le double de l'entrefer, limite au

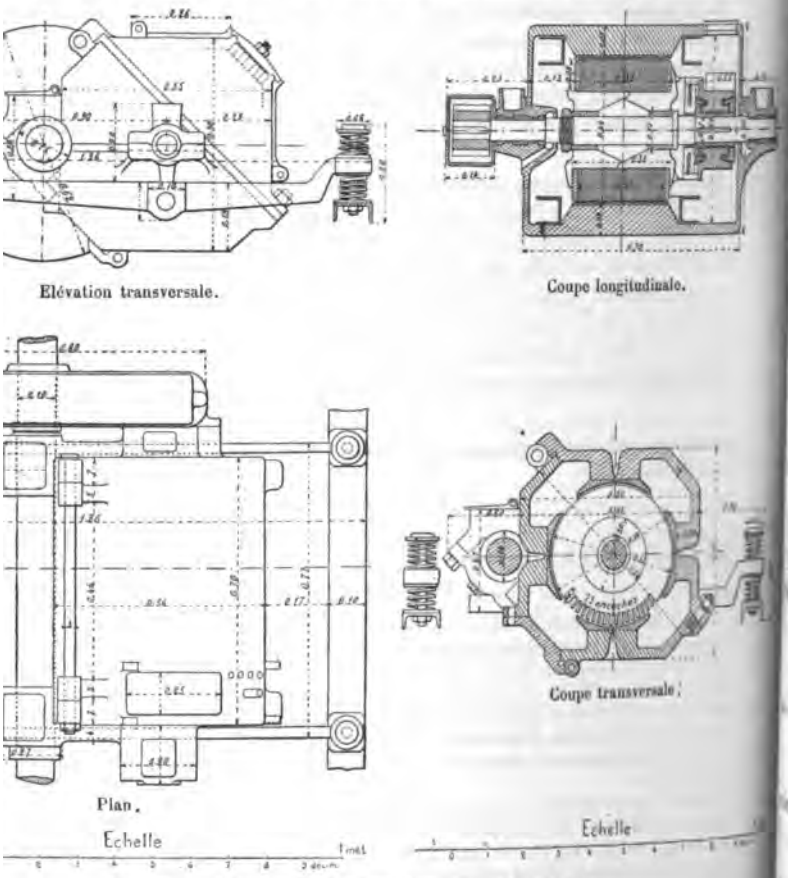



Fig. 21. — Moteur de 50 chev. étudié par les auteurs.

de laquelle les courants de Foucault deviennent assez considérables dans
ièces polaires, soit par conséquent 7 mm., et, pour ne pas trop étrangler
x, on se donnera comme condition que la largeur des dents à la base
ussi égale à 7 mm. Sur la circonférence de diamètre 380 — 52 = 328 mm.,

Digitized by Google

le pas de la denture est ainsi de 14 mm. et par suite le nombre des dents est

$$\frac{\pi \times 328}{14} = 73.$$

Ce chiffre permettra d'exécuter le bobinage étoilé, car $73 = 2 \times 37 - 1$. A la circonférence extérieure, le pas des dents devient :

$$\frac{\pi \times 38}{73} = 16{,}35 \text{ mm.},$$

dont on prendra 7 pour l'encoche et 9,35 pour la dent.

En faisant le dessin, on trouve que chaque pôle couvre 15 dents et 15 encoches ; son développement est donc

$$15 \times 16{,}35 = 245 \text{ mm.},$$

le développement des dents étant d'autre part

$$15 \times 9{,}35 = 140 \text{ mm.}$$

La surface moyenne offerte au passage du flux dans l'entrefer, en admettant un coefficient de serrage des tôles de 0,90, est

$$\frac{0{,}140 + 0{,}245}{2} \times \frac{0{,}30 + 0{,}30 \times 0{,}9}{2} = 0{,}05486 \text{ m}^2.$$

En adoptant le chiffre $\mathfrak{B} = 1{,}3$ weber : m² à l'entrée des dents, le flux sous un pôle a pour valeur

$$0{,}140 \times 0{,}30 \times 0{,}9 \times 1{,}3 = 0{,}04914 \text{ weber},$$

et le flux total positif pour les deux pôles

$$\Phi = 2 \times 0{,}049 = 0{,}098 \text{ weber}.$$

Le voltage aux bornes étant de 500 volts et la résistance R de l'induit et des inducteurs devant être environ

$$\frac{0{,}07 \times 42\,700 \text{ watts}}{(85{,}4 \text{ amp.})^2} = \frac{2\,989}{(85{,}4)^2} = 0{,}41 \text{ ohm},$$

la f. é. m. induite en régime normal sera d'environ

$$500 - 0{,}41 \times 85{,}4 = 465 \text{ volts}$$

et le nombre de spires $x$ sera donné par l'équation.

$$x \times \frac{550 \text{ tours}}{60} \times 0{,}098 \text{ weber} = 465 \text{ volts},$$

d'où

$$x = 517 \text{ spires},$$

ce qui ferait par encoche 7,1 spires. Nous prendrons le nombre exact inférieur 7 et nous aurons ainsi au total

$$N = 7 \times 73 = 511 \text{ spires}.$$

Digitized by Google

Afin d'augmenter l'utilisation des encoches, nous prendrons pour former l'enroulement induit du ruban de cuivre au lieu de fil. Nous formerons chaque spire de deux rubans en quantité, ayant chacun $5{,}5 \times 1$ mm.; la section totale d'une spire est ainsi de 11 mm², ce qui donne une densité de courant maxima de 3,9 amp. par millimètre carré, qui n'a rien d'exagéré pour le régime forcé.

En mesurant la longueur de la spire moyenne, on trouve 0,85 m., ce qui fait pour l'enroulement induit une longueur totale de

$$0{,}85 \times 511 = 434{,}4 \text{ m.}$$

et une résistance totale de

$$\frac{1{,}9 \times 10^{-6} \times 85 \times 511}{0{,}11 \text{ cm}^2} = 0{,}75 \text{ ohm,}$$

en prenant comme résistivité du cuivre à chaud 1,9 microhm-centimètre. La résistance effective de l'induit entre balais sera le quart de cette valeur, c'est-à-dire

$$R = \frac{0{,}75}{4} = 0{,}19 \text{ ohm.}$$

Chaque encoche contiendra 14 couches de ruban de 1,5 mm. d'épaisseur avec l'isolant, qui occuperont une hauteur totale de

$$14 \times 1{,}5 = 21 \text{ mm.}$$

La profondeur des encoches étant de 26 mm., il restera 5 mm. pour l'isolement du noyau et le frettage, ce qui est convenable et suffisant.

Avec un induit en tambour, on n'aurait pas pu employer le ruban à cause des connexions à faire. C'est seulement pour les induits à deux couches, tels que celui du moteur Walker décrit plus haut (fig. 17 *bis*), que le ruban est d'un emploi facile avec le tambour.

*Calcul des inducteurs.* — Nous devons tout d'abord modifier l'induction à l'entrée des dents dans le rapport inverse du nombre de spires d'induit indiqué au nombre de spires trouvé pour $\mathfrak{B} = 1{,}3$. On a donc à l'entrée des dents

$$\mathfrak{B} = 1{,}3 \times \frac{517}{511} = 1{,}31 \text{ weber : m}^2.$$

Les inductions dans les différentes parties du moteur se déduisent du chiffre 1,31 à l'entrée des dents, d'après les dimensions mesurées sur le dessin :

$$\mathfrak{B} \text{ moyen dans l'entrefer, } \frac{1{,}31 \times 0{,}140 \times 0{,}30 \times 0{,}9}{0{,}05486 \text{ m}^2} = 0{,}905 \text{ weber : m}^2$$

$$\text{— dans les dents, } \frac{1{,}31 \times 0{,}140 \times 0{,}30 \times 0{,}9}{15\,\dfrac{0{,}0093 + 0{,}0071}{2} \times 0{,}30 \times 0{,}9} = 1{,}495 \text{ web. : m}^2$$

Digitized by Google

$\mathfrak{B}$ moyen dans l'induit, hors denture, supposé épais de 0,060 m.,

$$\frac{1,31 \times 0,140 \times 0,30 \times 0,9}{2 \times 0,060 \times 0,30 \times 0,9} = 1,532 \text{ weber : m}^2$$

— dans le noyau inducteur, dont la section est $0,145 \times 0,30$ m²,

$$\frac{1,31 \times 0,140 \times 0,30 \times 0,9 \times 1,25}{0,145 \times 0,30} = 1,426 \text{ weber : m}^2$$

— dans la cuirasse épaisse de 0,030 m. et supposée présenter une largeur utile de 0,650 m. (en réalité le flux trouvera un passage un peu plus grand, grâce au chemin offert sur les côtés, mais en n'en tenant pas compte on se donne une sorte de coefficient de sécurité contre la saturation),

$$\frac{1,31 \times 0,140 \times 0,30 \times 0,9 \times 1,25}{2 \times 0,650 \times 0,030} = 1,59 \text{ weber : m}^2.$$

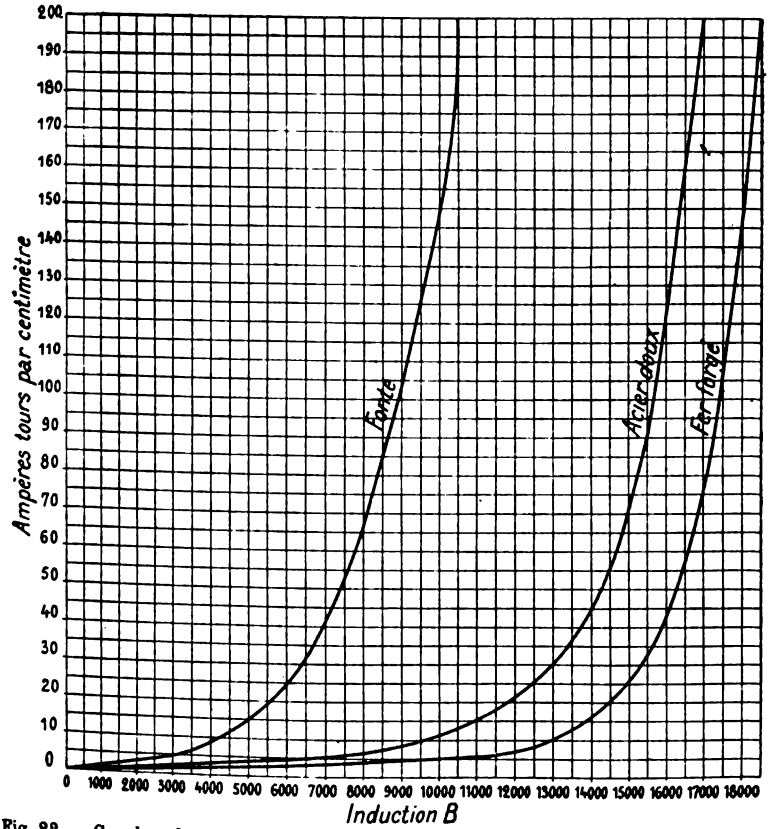



Fig. 22. — Courbes donnant les forces magnétomotrices nécessaires en ampères-tours par centimètre pour les métaux usuels.

Le nombre d'ampères-tours d'excitation maxima se déduit aisément de ces



Digitized by Google

chiffres en tenant compte de la longueur des lignes de force mesurée sur le dessin et indiquée sur le tableau suivant :

| | LONGUEUR des lignes de force en cm. | INDUCTION | AMPÈRES-TOURS par cm. | AMPÈRES-TOURS TOTAUX | INDUCTION | AMPÈRES-TOURS par cm. | AMPÈRES-TOURS TOTAUX | INDUCTION | AMPÈRES-TOURS par cm. | AMPÈRES-TOURS TOTAUX | INDUCTION |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Entrefer. . . . | 0,7 | 0,4 | 3 200 | 2 240 | 0,5 | 4 000 | 2 800 | 0,6 | 4 800 | 3 360 | 0,7 |
| Entrencoches . | 5,2 | 0,66 | 2,4 | 12,5 | 0,83 | 3,4 | 18 | 0,99 | 4 | 21 | 1,16 |
| Induit. . . . . | 27 | 0,68 | 2,5 | 67,5 | 0,85 | 3,4 | 92 | 1,02 | 4,2 | 113 | 1,18 |
| Inducteurs. . . | 13 | 0,64 | 4 | 52 | 0,8 | 5,2 | 67,6 | 0,96 | 8 | 104 | 1,12 |
| Cuirasse. . . . | 40 | 0,70 | 4,2 | 168 | 0,88 | 6,5 | 260 | 1,055 | 10,6 | 424 | 1,25 |
| Ampères-tours totaux . . | | | | 2 540 | | | 3 238 | | | 4 022 | |
| Nombre de tours par circuit . . . | | | | 120 | | | | | | | |
| Nombre d'ampères . . . . . | | | | 21,2 | | | 27,0 | | | 33,5 | |

Il suffit d'additionner les forces magnétomotrices partielles nécessaires pour varier la réluctance de chaque partie du circuit. En appelant $l$, $l'$, $l''$, $l'''$, les longueurs et $\mathcal{H}$, $\mathcal{H}'$, $\mathcal{H}''$, $\mathcal{H}'''$ les forces magnétomotrices correspondant à ces parcours, on a pour les ampères-tours totaux nécessaires la formule

$$NI = \frac{\mathcal{H}}{0,4\,\pi}\,l + \frac{\mathcal{H}'}{0,4\,\pi}\,l' + \frac{\mathcal{H}''}{0,4\,\pi}\,l'' + \frac{\mathcal{H}'''}{0,4\,\pi}\,l'''$$

Nous prenons comme base de ce calcul les courbes de la figure 22, qui indiquent les ampères-tours nécessaires par chaque centimètre de longueur des matériaux magnétiques ordinaires en fonction de l'induction qu'on veut y faire passer. Nous admettons que le flux dans les inducteurs est, par suite des fuites magnétiques, 1,25 fois plus grand que le flux dans l'induit.

Nous obtenons ainsi les chiffres ci-dessous :

| | INDUCTION | LONGUEUR des lignes de force. | AMPÈRES-TOURS par cm. | AMPÈRES-TOURS totaux. |
|---|---|---|---|---|
| | webers : m². | cm. | | |
| Induit hors denture. | 1,531 | 27 | 23,8 | 637 |
| Denture . . . . . | 1,495 | 5,2 | 21 | 109 |
| Entrefer. . . . . | 0,905 | 0,7 | 7 240 | 5 068 |
| Inducteurs. . . . | 1,426 | 13 | 40,4 | 525 |
| Cuirasse. . . . . | 1,59 | 40 | 89,6 | 3 584 |
| | | Total. . . . . | | 9 923 |

Digitized by Google

Il faut donc au total 9 923 ampères-tours par champ, soit 4 962 ampères-tours par électro-aimant.

:ITATION

| INDUCTION | AMPÈRES-TOURS par cm. | AMPÈRES-TOURS TOTAUX | INDUCTION | AMPÈRES-TOURS par cm. | AMPÈRES-TOURS TOTAUX | INDUCTION | AMPÈRES-TOURS par cm. | AMPÈRES-TOURS TOTAUX | INDUCTION | AMPÈRES-TOURS par cm. | AMPÈRES-TOURS TOTAUX |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,8 | 6 400 | 4 480 | 0,9 | 7 200 | 5 040 | 1 | 8 000 | 5 600 | 1,05 | 8 400 | 5 880 |
| 1,32 | 9 | 47 | 1,487 | 19,2 | 100 | 1,65 | 45,6 | 237 | 1,735 | 76 | 395 |
| 1,355 | 10,5 | 283 | 1,524 | 23,2 | 626 | 1,693 | 59,2 | 1 598 | 1,778 | 105,6 | 2 851 |
| 1,28 | 22,4 | 291 | 1,44 | 42 | 546 | 1,6 | 96,8 | 1 285 | 1,68 | 144,8 | 1 882 |
| 1,41 | 37,2 | 1 488 | 1,58 | 86 | 3 440 | 1,758 | 275 | 11 000 | 1,846 | 340 | 13 600 |
| | | 6 589 | | | 9 752 | | | 19 720 | | | 24 608 |
| | | 54,9 | | | 81,3 | | | 164,3 | | | 205,1 |

Le débit étant de 85,4 amp., le nombre de tours sera de 58,1 par électro, soit en chiffres ronds 60. Admettons une densité de courant maxima de 2,5 amp. par millimètre carré ; il faudra une section de $\frac{85,4}{2,5} = 34$ mm² par spire, qu'on réalisera en enroulant en quantité deux rubans de 17 mm², ayant chacun 1,7 × 10 mm. ou 2,2 × 10,5 mm. avec le guipage. En tout, on aura donc 120 rubans par électro. Comme on peut en mettre 5 en hauteur et 27 en épaisseur, soit en tout 135, on voit que la place est suffisante pour les loger.

La longueur moyenne des spires est de 140 cm. La résistance d'un électro est donc

$$R = \frac{1.9 \times 10^{-6} \times 140 \times 60}{0,34} = 0,047 \text{ ohm},$$

ce qui donne pour la résistance totale des inducteurs $4 \times 0,047 = 0,188$ ohm ou, en chiffres ronds, 0,19 ohm.

La résistance totale du moteur en série sera, d'après ce qui précède, de

$$0,19 + 0,19 = 0,38 \text{ ohm},$$

et la perte d'énergie par effet Joule, de

$$0,38 \times (85,4)^2 = 2\,771 \text{ watts},$$

soit 0,063, au lieu de 0,07 que nous avions supposé précédemment, ce qui est un résultat satisfaisant.

*Courbe d'excitation du moteur.* — Ayant déterminé l'induit et les inducteurs

Digitized by Google

en vue du régime forcé, il reste à voir comment ils se comporteront aux autres régimes et quelle sera en particulier la variation de la vitesse et de l'effort moteur en fonction du courant.

Dans ce but, on commence par tracer la courbe d'excitation à la vitesse constante de 550 tours, c'est-à-dire la loi qui relie la f. é. m. induite sous cette vitesse au courant dans les inducteurs. On obtient cette courbe en se donnant des valeurs croissantes de l'induction dans l'entrefer, à laquelle la f. é. m. est proportionnelle, et en calculant les ampères-tours inducteurs nécessaires pour la produire par la formule donnée ci-dessus. Connaissant le nombre de

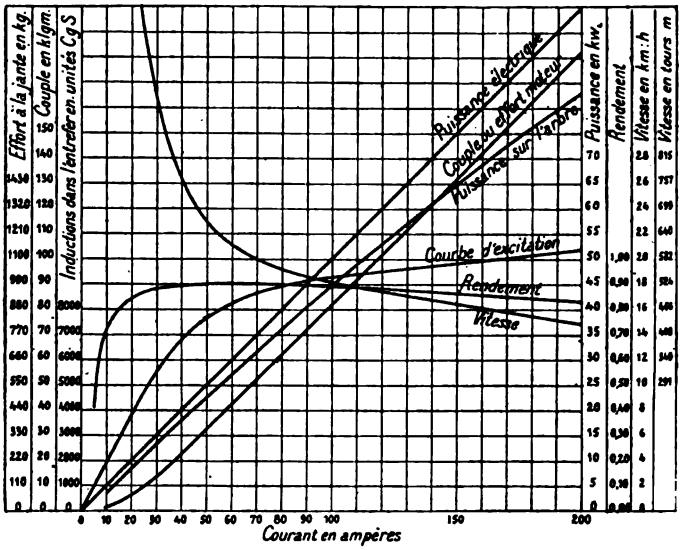



Fig. 23. — Courbes caractéristiques du moteur de la figure précédente, y compris la courbe d'excitation déduite du tableau des pages 690-691.

spires sur deux pôles inducteurs, l'intensité correspondante en ampères s'en déduit par simple division et permet de tracer la courbe d'excitation de la figure 23.

*Courbes de fonctionnement et de rendement.* — Pour chaque valeur de l'excitation, on connaît donc le flux et le courant. La force électromotrice se déduit du voltage aux bornes :

$$E = 500 - rI ;$$

la vitesse en tours par minute est donc

$$n = \frac{500 - rI}{N\Phi} \times 60$$

et en kilomètres : heure, avec des roues de 0,82 m. et une réduction de 1 : 4,5,

$$V = \frac{n \times 60 \times \pi \times 0,82}{4,5 \times 1\,000}$$

La puissance électrique prise à la ligne est $500 \times I$ watts.

Digitized by Google

Pour calculer le rendement aux diverses charges, il suffit de retrancher de cette puissance les différentes pertes :

| | |
|---|---|
| Frottements. . . . . | 3 p. 100 de la puissance normale ou 1 281 watts, |
| Effet Joule. . . . . | $r\,I^2$, |
| Hystérésis . . . . . | $0{,}003 \times n\mathfrak{B}^{1,6} \times 10^{-4} \times y$, formule de Steinmetz, |
| Courants de Foucault. | $\dfrac{0{,}16 \times 5^2 \times n^2 \times \mathfrak{B}^2\, y}{10^{11} \times 10^4}$, — |

en supposant qu'il s'agit de tôles de 5/10 et en appelant $y$ le volume du fer induit, $\mathfrak{B}$ son induction et $n$ le nombre de cycles d'aimantation par seconde; 0,003 et 0,16 sont les coefficients des formules de Steinmetz.

On obtient par différence la puissance utile, et le rapport de celle-ci à la puissance dépensée donne le rendement. En divisant la puissance utile par la vitesse, on obtient enfin l'effort à la jante.

Le tableau de la page 694 résume les résultats de ce calcul, qui sont tracés graphiquement sous forme de courbes sur la figure 23. La vitesse du moteur est suffisamment constante ; on pourrait d'ailleurs saturer davantage en réduisant l'épaisseur de la carcasse. Quant à l'induit, nous le saturons peu pour réduire au minimum les pertes intérieures. On remarquera que les pertes fixes par hystérésis et par courants de Foucault sont très faibles, ce qui est important.

*Surfaces de refroidissement du moteur ; échauffement.* — Pour vérifier le bon fonctionnement du moteur, il faut enfin déterminer ses conditions d'échauffement. On trouve :

1° *Avec le régime forcé de* 85,4 *ampères.*

Surface de la cuirasse, $(56 - 21{,}2 + 15) \times 4 \times 70 + \left(56^2 - \dfrac{10{,}6^2 \times 4}{2}\right) \times 2 =$

$$13\,944 + 5\,842 = 19\,786 \text{ cm}^2.$$

| | | |
|---|---|---|
| Énergie à dissiper : | hystérésis . . . . . | 214 watts |
| | courants de Foucault. . . | 20 — |
| | effet Joule. . . . . | 2 771 — |
| | Total. . . . . | 3 005 watts |

soit 6,5 cm² par watt.

Surface de refroidissement de l'induit,

$$\pi\left(38 + \frac{21}{2}\right)32 + \pi\left(\frac{38}{2} - \frac{21}{2}\right)^2 \times 2 = 5\,068 \text{ cm}^2.$$

| | | |
|---|---|---|
| Énergie à dissiper : | hystérésis . . . . . | 214 watts |
| | courants de Foucault. . . | 20 — |
| | effet Joule. . . . . | 1 385 — |
| | Total. . . . . | 1 619 — |

soit 3 cm² par watt.

Surface de refroidissement des inducteurs . . $140 \times 7 \times 4 = 3\,920$ cm²
Energie à dissiper . . . 1 385 watts

soit 3 cm² environ par watt. Ces chiffres de surfaces spécifiques sont faibles, mais néanmoins suffisants pour un régime forcé temporaire.

Digitized by Google

CALCUL DU RENDEMENT, DE LA VITESSE ET DE L'EFFORT

| COURANT EN AMPÈRES | FLUX TOTAL dans l'entrefer $\Phi = \mathfrak{B}_r \times 0{,}05486 \times 2$ en webers. | FORCE CONTRE-ÉLECTROMOTRICE du moteur $E = U - RI$ en volts. | VITESSE EN TOURS par minute $n = \frac{U - RI}{N\Phi} \times 60$ | VITESSE EN KM : H. $V = \frac{n \times 60 \times \pi \times 0{,}82}{4{,}5 \times 1\,000}$ | PERTES par frottements supposés constants = 2 p. 100 de la puissance du moteur en kw. | PERTES PAR HYSTÉRÉSIS $\frac{0{,}003 \times n\mathfrak{B}^{1,6} \times 10^{-4} \times yd\,m^3}{1\,000}$ en kw. | PERTES PAR COURANTS de Foucault $\frac{0{,}16 \times 5^2 \times n^2 \times \mathfrak{B}^2\, yd\,m^3}{10^7 \times 10^3}$ en kw. | PERTES PAR EFFET JOULE $\frac{0{,}38\, I^2}{1\,000}$ en kw. | PERTE TOTALE P' en kw. | PUISSANCE PRISE A LA LIGNE $P = \frac{500 \times I}{1\,000}$ en kw. | PUISSANCE sur l'arbre du moteur $P'' = P - P'$ en kw. | RENDEMENT DU MOTEUR | COUPLE SUR L'ARBRE en kgm. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10 | 0,02107 | 496,2 | 2 766 | 95 | 1,281 | 0,089 | 0,0227 | 0,038 | 1,431 | 5 | 3,57 | 0,714 | 1,26 |
| 15 | 0,0313 | 494,3 | 1 856 | 63,75 | » | 0,113 | 0,0224 | 0,086 | 1,504 | 7,5 | 6 | 0,80 | 3,15 |
| 25 | 0,05108 | 490,5 | 1 129 | 38,8 | » | 0,151 | 0,022 | 0,138 | 1,594 | 12,5 | 10,9 | 0,872 | 9,4 |
| 35 | 0,068 | 486,7 | 840 | 28,8 | » | 0,177 | 0,022 | 0,466 | 1,946 | 17,5 | 15,55 | 0,888 | 18 |
| 45 | 0,0795 | 482,9 | 713 | 24,5 | » | 0,193 | 0,021 | 0,768 | 2,263 | 22,5 | 20,24 | 0,90 | 27,64 |
| 55 | 0,0878 | 479,1 | 641 | 22 | » | 0,203 | 0,021 | 1,150 | 2,656 | 27,5 | 24,84 | 0,903 | 37,7 |
| 65 | 0,0933 | 475,3 | 598 | 20,55 | » | 0,209 | 0,02075 | 1,606 | 3,117 | 32,5 | 29,38 | 0,904 | 47,8 |
| 75 | 0,0969 | 471,5 | 571 | 19,7 | » | 0,213 | 0,0204 | 2,138 | 3,652 | 37,5 | 33,85 | 0,902 | 57,65 |
| 85 | 0,0995 | 467,7 | 552 | 18,95 | » | 0,214 | 0,020 | 2,746 | 4,261 | 42,5 | 38,24 | 0,898 | 67,46 |
| 100 | 0,1023 | 462 | 530 | 18,2 | » | 0,215 | 0,0196 | 3,800 | 5,316 | 50 | 44,68 | 0,894 | 82 |
| 120 | 0,1048 | 454,4 | 509 | 17,5 | » | 0,215 | 0,019 | 5,472 | 6,987 | 60 | 53 | 0,883 | 101,3 |
| 150 | 0,1084 | 443 | 480 | 16,5 | » | 0,213 | 0,018 | 8,550 | 10,062 | 75 | 64,94 | 0,866 | 131,7 |
| 200 | 0,1145 | 424 | 435 | 14,93 | » | 0,211 | 0,0165 | 15,200 | 16,709 | 100 | 83,29 | 0,833 | 184,5 |

Digitized by Google

2° *Avec le régime moyen de 40 ampères.*

| | | |
|---|---|---|
| Energie à dissiper : | hystérésis. . . . . | 184 watts |
| | courants de Foucault . . . | 22 — |
| | effet Joule . . . . . | 608 — |
| | Total . . . . . | 814 — |

La surface spécifique de la cuirasse est donc $\frac{19\,786}{814} = 24{,}3$ cm² par watt. L'échauffement correspondant au-dessus de la température ambiante serait, d'après la courbe de Kapp (voir t. I, p. 165), d'environ 67°, ce qui est modéré pour un moteur de ce genre.

Pour l'induit, on aurait 510 w., soit $\frac{5\,068}{510} = 9{,}94$ cm² par watt environ, pour les inducteurs, 304 w., soit $\frac{3\,920}{304} = 12{,}9$ cm² par watt.

Tous ces chiffres sont acceptables et le moteur peut par suite être considéré comme supportant en moyenne 40 amp., exceptionnellement 80 amp., et même 90 ou 100 amp. au moment très court du démarrage.

Nous avons supposé qu'on préférait le type en anneau ; le même moteur pourrait être bobiné en tambour sans autre changement que la substitution de fil rond au ruban ; la résistance d'induit seule s'en trouverait un peu modifiée.

On pourrait également, en adoptant des encoches fermées ou des pôles feuilletés, réduire le nombre des dents et mettre 2 ou 3 sections par encoche.

Digitized by Google

# ANNEXE N° 4

PRINCIPAUX TYPES DE VOITURES DE TRAMWAYS ÉLECTRIQUES CONSTRUITES PAR LA J. G. BRILL CO. DE PHILADELPHIE

| TYPE DE VOITURE | LONGUEUR de la caisse. | LONGUEUR totale. | LONGUEUR des plates-formes. | LARGEUR au niveau du plancher. | LARGEUR à la ceinture. | Hauteur intérieure. | Nombre de places assises. | Poids de la caisse. | Poids du truck ou des trains de roues | PRIX du catalogue de 1896. | OBSERVATIONS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | m. | m. | m. | m. | m. | m. | | kg. | kg. | fr. | |
| Voiture automobile fermée à 2 essieux, sièges longitudinaux, plates-formes ouvertes | 4,829 | 7,320 | 1,220 | 1,881 | 2,287 | | 22 | 2041,200 | 2177,280 | 3 925-4 750 (Caisse seule.) | Les prix varient suivant le luxe intérieur. Ils s'appliquent aux voitures emballées et rendues à quai à New-York. La largeur de la voie est de 1m,435, sauf indication contraire. |
| Voiture d'attelage fermée à 2 essieux, sièges longitudinaux, plates-formes ouvertes | 4,829 | 7,320 | 1,220 | 1,881 | 2,287 | » | 22 | 1814,400 | 635,040 | 4 400-5 200 (Caisse et trains de roues.) | |
| Voiture automobile fermée à accumulateurs, à 2 essieux, sièges longitudinaux, plates-formes ouvertes | 4,829 | 7,320 | 1,220 | 1,881 | 2,287 | » | 22 | 2268,000 | 2177,280 | 4 425-5 250 (Caisse seule.) | |
| Voiture d'attelage convertible [1] à 2 essieux, sièges transversaux et passage central, plates-formes ouvertes | 5,058 | 7,015 | » | » | 2,338 | » | 24 | 2086,560 | 635,040 | 4 775-5 775 (Caisse seule.) | [1] Voiture fermée pour le service d'hiver, pouvant se transformer l'été en voiture ouverte. |
| Voiture d'attelage convertible à 2 essieux, sièges transversaux et passage central, plates-formes ouvertes | 6,709 | 7,472 | » | » | 2,313 | » | 28 | 1950,480 | 635,040 | 4 875-5 875 (Caisse seule.) | |
| Voiture automobile fermée à 2 essieux, sièges longitudinaux, plates-formes fermées | 4,829 | 7,320 | 1,220 | 1,881 | 2,287 | » | 22 | 2131,920 | 1589,000 | 4 425-5 250 (Caisse seule.) | |
| Voiture automobile fermée à 2 essieux, sièges longitudinaux, plates-formes fermées | 5,185 | 7,625 | » | » | 2,440 | 2,440 | 24 | 2177,280 | 2177,280 | 4 500-5 325 (Caisse seule.) | |
| Voiture automobile fermée à 2 essieux, sièges longitudinaux, plates-[illegible] | [illegible] | 7,[illegible] | 1,220 | 1,881 | 2,287 | » | 20 | 2177,280 | 2177,280 | 4 175-5 000 | |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| formes fermées . . . . . | [illegible] | [illegible] | 1,220 | 1,881 | 2,287 | » | 20 | [illegible] | [illegible] | [illegible] (Caisse seule.) | |
| Voiture automobile fermée à 2 essieux, sièges longitudinaux, plates-formes ouvertes . . . . . | 6,405 | 8,540 | 1,067 | 1,881 | 2,287 | » | 30 | 2381,400 | 2177,280 | 4375-5275 (Caisse seule.) | |
| Voiture d'attelage convertible à 2 essieux, sièges transversaux et passage central, plates-formes ouvertes. . . . . | 6,710 | 8,845 | » | 2,440 | » | » | 36 | 3356,640 | | 5250-6500 (Caisse seule.) | |
| Voiture d'attelage fermée à 4 essieux, sièges longitudinaux, plates-formes ouvertes . . . . . | 6,710 | 8,769 | » | » | 2,287 | » | 30 | 2721,600 | 2268,000 | 6600-7400 (Caisse et trucks.) | |
| Voiture automobile fermée à 4 essieux, sièges longitudinaux, plates-formes fermées. . . . . | 7,320 | 9,660 | 1,220 | 1,881 | 2,287 | » | 34 | 2721,600 | 2903,40 | 7875-8825 (Caisse et trucks). | |
| Voiture automobile fermée à 4 essieux, sièges longitudinaux, plates-formes ouvertes . . . . . | 7,625 | 9,965 | 1,220 | 1,881 | 2,287 | » | 36 | 2653,560 | 2903,40 | 7250-8200 (Caisse et trucks.) | |
| Voiture automobile fermée à 4 essieux, sièges longitudinaux, plates-formes fermées. . . . . | 7,525 | 9,965 | 1,220 | 1,881 | 2,287 | » | 36 | 2744,280 | 2903,40 | 7750-8700 (Caisse et trucks.) | |
| Voiture automobile convertible à 4 essieux, sièges transversaux et passage central, plates-formes fermées . . . . . | 7,777 | 9,812 | 1,220 | 1,835 | 2,389 | » | 40 | 2812,320 | 2358,720 | 9125-10500 (Caisse et trucks.) | |
| Voiture automobile convertible à 4 essieux, sièges transversaux et passage central, plates-formes ouvertes. . . . . | 8,387 | 10,270 | » | » | 2,440 | » | 44 | 2812,320 | 2358,720 | 8625-10000 (Caisse et trucks.) | |
| Voiture automobile fermée à 4 essieux, sièges transversaux et passage central, avec entrée et plate-forme au milieu de la voiture . . . | 3,05 et 5,185 | 9,455 | » | 1,982 | 2,287 | » | 46 | 3402,000 | 2358,720 | 11000-12500 (Caisse et trucks.) | Voie de 1m,473. |
| Voiture automobile partie ouverte, partie fermée, à 4 essieux, sièges longitudinaux dans la portion centrale fermée et transversaux dans les portions extrêmes ouvertes. . . . . | 3,558 | 8,845 | » | 1,932 | 2,287 | » | 40 | 2494,800 | 2358,720 | 8125-9250 (Caisse et trucks.) | |

Digitized by Google

| TYPE DE VOITURE | LONGUEUR de la caisse. | LONGUEUR totale. | LONGUEUR des plates-formes. | LARGEUR au niveau du plancher. | LARGEUR à la ceinture. | Hauteur intérieure. | Nombre de places assises. | Poids de la caisse. | Poids du truck ou des trains de roues. | PRIX | OBSERVATIONS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | m. | m. | m. | m. | m. | m. | | kg. | kg. | fr. | |
| Voiture automobile ouverte à 2 essieux, sièges longitudinaux. . . | » | 6,405 | 1,017 | 2,287 | » | » | 34 | 1360,800 | 1360,800 | 3850 (Caisse seule.) | Voie de 1m,575. |
| Voiture automobile ouverte à 2 essieux, 7 bancs transversaux. . | » | 6,857 | » | » | 2,084 | » | 35 | 1587,600 | 2177,280 | 2875-3250 (Caisse seule.) | |
| Voiture d'attelage ouverte à 2 essieux, 7 bancs transversaux . . . . | » | 7,015 | » | » | 2,084 | » | 35 | 1542,240 | 635,040 | 3475-3850 (Caisse et trains de roues.) | |
| Voiture automobile ouverte à 2 essieux, 8 bancs transversaux. . . | » | 7,702 | 0,915 | 1,881 | 2,084 | » | 40 | 1814,400 | 2177,280 | 3000-3375 (Caisse seule.) | |
| Voiture automobile ouverte à 2 essieux, 8 bancs transversaux . . | » | 7,930 | 0,813 | 1,830 | 2,084 | » | 40 | 1995,84 | 2177,280 | 3125-3500 (Caisse seule.) | |
| Voiture automobile ouverte à 2 essieux, 9 bancs transversaux. . . | 5,989 | 8,521 | » | 1,881 | 2,148 | » | 45 | 2812,320 | 2177,280 | 3200-3575 (Caisse seule.) | |
| Voiture automobile ouverte à 2 essieux, 8 bancs transversaux, plates-formes fermées . . . . . | » | 7,981 | » | » | 2,084 | » | 40 | 1927,800 | 2177,280 | 3500-3875 (Caisse seule.) | |
| Voiture automobile ouverte à 2 essieux, 8 bancs transversaux, plates-formes fermées . . . . . | » | 9,061 | » | 1,881 | 2,148 | » | 50 | 3266,420 | 2177,280 | 3750-4125 (Caisse seule.) | |
| Voiture d'attelage ouverte à 2 essieux, 10 bancs transversaux. . . . | » | 7,625 | » | » | 2,287 | » | 50 | 1814,400 | 635,040 | 3475-3850 (Caisse et trains de roues.) | |
| Voiture d'attelage fermée à grandes baies, à 2 essieux, sièges transversaux, plates-formes couvertes | 5,440 | 7,625 | » | » | 2,287 | » | 31 | 1814,400 | 635,040 | 4250-5125 (Caisse et trains de roues.) | |

Digitized by Google

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | (Caisse et trucks.) | |
| Voiture automobile ouverte à 4 essieux, 12 bancs transversaux. . | » | 10,370 | » | 1,932 | 2,186 | » | 60 | 2 721,600 | 2 630,880 | 6 125-6 875 (Caisse et trucks.) | |
| Voiture d'attelage ouverte à 4 essieux, sièges longitudinaux, plate-forme ouverte. . . . . | 7,167 | 8,387 | 1,220 | » | 2,287 | » | 32 | 2 313,360 | 1 360,800 | 6 000 (Caisse et trucks.) | |
| Voiture d'attelage ouverte à 4 essieux, 14 bancs transversaux. . . . | » | 10,370 | » | » | 2,287 | » | 70 | 2 948,400 | 1 451,520 | 6 125-6 875 (Caisse et trucks.) | |
| Voiture d'attelage ouverte à 4 essieux, 15 bancs transversaux. . . . | 11,387 | 13,420 | » | » | 2,440 | » | 60 | 4 082,400 | 2 721,600 | 8 375-9 125 (Caisse et trucks.) | |
| Voiture automobile fermée mixte pour voyageurs et bagages, à 4 essieux, plates-formes ouvertes. . . . | 7,930 [1] | 9,760 | 0,915 | 2,084 | 2,287 | » | 24 | 2 653,560 | 2 358,720 | 7 250-8 200 (Caisse et trucks.) | [1] Longueur du compartiment à voyageurs : 5m,284. Longueur du compartiment à bagages : 2m,643. |
| Voiture d'attelage fermée à impériale découverte, à 2 essieux, sièges longitudinaux, escaliers aux deux extrémités. . . . . | 4,829 | 7,930 | » | » | 2,287 | » | 22 int. / 22 imp. | 1 814,400 | 635,040 | 5 775 (Caisse et trains de roues.) | |
| Voiture automobile fermée à impériale découverte, à 2 essieux, sièges longitudinaux, escaliers aux deux extrémités. . . . . | 4,829 | 7,930 | » | » | 2,287 | » | 22 int. / 22 imp. | 2 268,000 | 2 177,280 | 5 300-6 125 (Caisse seule.) | |
| Voiture automobile ouverte à impériale couverte, à 2 essieux, sièges transversaux à l'intérieur et longitudinaux à l'impériale, escalier à une seule extrémité . . . . . | » | 7,253 | » | » | 2,084 | » | 35 int. / 24 imp. | 1 995,840 | 2 177,280 | 4 450-4 825 (Caisse seule.) | Hauteur totale : 4m,651 |
| Voiture d'attelage ouverte à impériale couverte, à 2 essieux, sièges transversaux à l'intérieur et longitudinaux à l'impériale, escaliers aux deux extrémités. . . . . | » | 7,559 | » | » | 2,084 | » | 35 int. / 24 imp. | 1 995,840 | 635,040 | 4 500-4 875 (Caisse seule.) | Hauteur totale : 4m,651. |

Digitized by Google

| TYPE DE VOITURE | LONGUEUR de la caisse. | LONGUEUR totale. | LONGUEUR des plates-formes. | LARGEUR au niveau du plancher. | LARGEUR à la ceinture | Hauteur intérieure. | Nombre de places assises. | Poids de la caisse. | Poids du truck ou des trains des roues. | PRIX | OBSERVATIONS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | m. | m. | m. | m. | m. | m. | | kg. | kg. | fr. | |
| Voiture d'attelage convertible à impériale, couverte à 2 essieux, sièges transversaux à l'intérieur et longitudinaux à l'impériale, escaliers aux deux extrémités . . . . . | 5,363 | 7,930 | » | » | 2,414 | 2,338 | 28 int. 26 imp. | 2449,440 | 680,400 | 6500-7625 (Caisse seule.) | Hauteur totale : 4m,626. |
| Voiture automobile partie ouverte, partie fermée, à impériale découverte, à 2 essieux, sièges transversaux et longitudinaux . . . . . | 2,745 | 8,387 | » | 1,830 | 2,084 | » | 26 int. 22 imp. | 2086,560 | 2177,280 | 4000-4875 (Caisse seule.) | |
| Voiture automobile fermée à impériale couverte, à 4 essieux, sièges longitudinaux, escaliers aux deux extrémités. . . . . | 7,777 | 10,675 | 1,449[1] | 1,830 | 2,287 | » | 72 | 3402,000 | 2630,88 | 9250-10 200 (Caisse et trucks ) | Hauteur totale : 4m,575. [1] Y compris une plate-forme spéciale de 0m,534 de longueur à chaque extrémité pour le mécanicien. |
| Voiture d'attelage ouverte à impériale couverte, à 4 essieux, sièges transversaux à l'intérieur et longitudinaux à l'impériale, escaliers aux deux extrémités . . . . . | 8,235 | 10,980 | » | » | 2,287 | » | 60 int. 30 imp. | 4536,000 | 1360,80 | 10000 (Caisse et trucks.) | |
| Voiture automobile fermée mixte pour voyageurs et bagages, à 2 essieux, sièges longitudinaux, plates-formes fermées . . . . . | 6,100 | 8,540 | 1,220 | 1,881 | 2,287 | » | 14 | 3628,800 | 2177,280 | 5175-5750 (Caisse seule.) | |
| Voiture corbillard . . . . . | 4,219 | 6,100 | » | 1,830 | » | » | » | 1769,040 | 635,040 | 7750 (Caisse et trains de roues.) | |

Digitized by Google

## ANNEXE N° 5

### CAHIER DES CHARGES AMÉRICAIN

POUR LA

# FOURNITURE DE CAISSES D'AUTOMOBILES FERMÉES

*Dimensions :*

| | |
|---|---|
| Longueur extérieure de la caisse. . . . . | 6,10 m. |
| Longueur totale de la voiture hors tampons . . . | 8,54 — |
| Largeur au niveau du plancher . . . . . | 1,98 — |
| Largeur extrême. . . . . | 2,28 — |
| Hauteur intérieure au centre. . . . . | 2,00 — |
| Hauteur extérieure, du dessous des brancards à la partie supérieure du support de trôlet. . . . . | 2,54 — |

*Portes.* — Portes jumelles doubles de 31,5 mm. d'épaisseur, suspendues sur galets.

*Fenêtres.* — 7 fenêtres de chaque côté et 2 à chaque bout, avec linteaux courbes.

*Plates-formes.* — Plates-formes de 1,22 m. de longueur, avec entrée et marchepied de chaque côté, bordées par une balustrade en tôle d'acier n° 16 de 0,75 m. de hauteur.

*Châssis.* — Brancards en chêne de 9,5 × 15 cm. d'équarrissage, doublés sur leur face extérieure d'un plat en acier de 12,5 mm. ; traverses extrêmes en chêne de 15 × 9,5 cm. ; traverse médiane en chêne de 9 × 9,5 cm. ; traverses intermédiaires de 9 × 9,5 cm.

La charpente devra être très soignée ; tous les tenons et mortaises seront peints à la céruse avant d'être mis en place et les assemblages consolidés par des tirants en fer.

*Plancher.* — Le plancher, qui devra être muni de trappes pour la visite des moteurs, sera formé de frises de pitchpin de 2,2 × 8 cm. d'équarrissage, rabotées sur leurs deux faces et fixées au châssis par des vis ; il sera garni sur toute sa longueur (sauf un espace de 0,05 m. à chaque extrémité pour faciliter le balayage) d'un lattis de frêne également maintenu en place par des vis.

*Trappes.* — Les trappes de visite devront s'adapter au type de moteur qui

Digitized by Google

sera spécifié ; leur encadrement sera en frêne de 2,5 × 7,5 cm. d'équarrissage, assemblé à tenon et mortaise et chevillé.

*Carcasse.* — Poteaux corniers de 11,5 cm. d'épaisseur, poteaux montants de 5,5 cm. avec cambrure de 15 cm. ; ceinture intermédiaire de 3,5 × 11 cm. ; ceinture supérieure de 4,5 × 7 cm. ; semelle inférieure du lanterneau de 4,5 × 5,5 cm.

Toute la carcasse sera en frêne blanc bien sec, sans aubier ni gerçures. Tous les assemblages seront peints à la céruse et chevillés. Les montants seront assemblés à tenon et mortaise avec les brancards ; l'épaulement du tenon sera encastré de 6 mm. dans le brancard et maintenu en place par un étrier.

Les panneaux concaves seront renforcés intérieurement par 4 nervures en frêne dur de 1,5 × 4,5 cm. placées dans l'intervalle des montants ; ces nervures seront assemblées à tenon et mortaise avec le brancard et solidement vissées sur la ceinture inférieure. Les nervures des panneaux convexes auront les mêmes dimensions et seront assemblées à tenon et mortaise avec les ceintures inférieure et intermédiaire, et fixées en place par des chevilles.

La ceinture intermédiaire sera rainée pour recevoir les panneaux, qui ne devront être cloués que sur leur bord supérieur. Les ceintures des cloisons de tête seront assemblées à queue d'hironde avec les poteaux, sans l'aide de coins dont l'emploi est absolument proscrit. Tous les panneaux devront avoir été chauffés avant leur mise en place et seront collés sur les poteaux, les nervures et les ceintures ; ils ne seront cloués qu'au droit des poteaux ; ils seront doublés d'une toile forte également collée et enduite de plusieurs couches de peinture minérale.

Les tirants seront en fer rond de 19 mm., dissimulés sous les banquettes, et s'étendront sur toute la longueur de la voiture.

*Toiture.* — La partie centrale du toit sera surélevée en forme de lanterneau à 8 châssis mobiles de chaque côté et 2 châssis dormants à chaque extrémité, régnant sur toute la longueur. Le toit sera renforcé par des courbes en acier de 16 × 25 mm. placées de manière à supporter le poids du trôlet et terminées par des T fixés aux ceintures supérieures par des vis à bois.

Les voliges du toit auront au moins 13 mm. d'épaisseur ; elles seront peintes à la céruse et, après masticage de tous les trous et joints, recouvertes de toile de coton forte apprêtée à la céruse et peinte à 3 couches.

*Plafond.* — Le revêtement du plafond sera en érable blanc décoré et verni.

*Support de trôlet.* — Le support de trôlet devra s'adapter au type de trôlet qui sera spécifié ; ses membrures seront posées à bain de céruse.

*Auvents.* — Les auvents des plates-formes seront démontables, avec cadre en chêne, courbes en frêne et frises en peuplier de 1 × 6,5 cm., assemblées à languette et rainure et recouvertes de toile forte enduite comme le reste du toit.

*Colonnettes.* — Les auvents seront supportés par 2 colonnettes en fer, terminées par des portées coniques traversant la traverse frontale et les longerons de plate-forme.

Une main-courante en bronze surmontera la balustrade.

Digitized by Google

*Marchepieds.* — Les marchepieds seront formés de supports en fonte malléable, avec marches en chêne et contremarches en tôle perforée.

*Freins.* — A l'extrémité de chaque plate-forme il y aura un arbre à manivelle de 28,5 mm. de diamètre à sa partie supérieure et 35 mm. à sa partie inférieure, muni d'une manivelle à rochet en bronze de 0,30 m. de longueur.

*Grilles d'entrée.* — Chaque entrée sera pourvue d'une grille à charnière pouvant se rabattre contre la caisse.

*Tampons de choc.* — Tampons de choc en fer cornière supporté par des consoles.

*Attelages.* — Attelages automatiques système van Dorn.

*Boîtes à sable.* — Deux boîtes à sable avec agitateur seront disposées dans deux angles diagonalement opposés de la voiture; elles seront commandées par des leviers aboutissant aux plates-formes.

*Gongs et sonneries.* — Il y aura sous chaque plate-forme un gong de 0,30 m., avec bouton au pied du mécanicien. Un timbre plus petit sera placé sous chaque auvent, avec une corde de commande en cuir rond de 9,5 mm. assez longue pour atteindre le rebord extérieur de l'auvent.

*Garnitures extérieures.* — Toutes les garnitures extérieures seront en bronze de la meilleure qualité, conformes au modèle, polies et fixées en place au moyen de vis en bronze.

*Lampes.* — Deux lampes à pétrole seront placées dans deux angles diagonalement opposés de la caisse.

*Fini intérieur.* — Toutes les parties vues à l'intérieur de la voiture, y compris les portes, moulures, etc., seront en frises de cerisier.

Les feuilles de placage de plafond devront être peintes par derrière avant d'être mises en place.

Les deux mains-courantes de plafond seront en cerisier, avec montures en bronze, et pourvues chacune de 10 courroies à main.

Toutes les boiseries intérieures seront d'un dessin artistique et fixées en place par des vis en bronze à tête fraisée, conformes au modèle.

Les banquettes seront formées de lames en cerisier (de 1,5 × 3 cm. pour le siège et 1 × 3 cm. pour le dossier), assemblées à languette et rainure et recouvertes de moquette.

Le dessous des banquettes sera fermé par des panneaux verticaux démontables pourvus d'une porte centrale à charnières et d'écrans en toile de cuivre pour les radiateurs électriques.

Toutes les moulures seront en cerisier plein; l'ensemble de la décoration intérieure devra être extrêmement soigné.

*Châssis vitrés.* — Les châssis vitrés seront en verre double monté dans une garniture de feutre; des tampons de caoutchouc empêcheront toute vibration des châssis lorsqu'ils seront abaissés.

Digitized by Google

*Jalousies.* — Toutes les fenêtres seront munies de jalousies avec cadre en risier et lames en érable.

*Glaces.* — Il y aura à chaque extrémité de la voiture, au-dessus des fenêtres, ux glaces biseautées montées dans des cadres en cerisier.

*Peinture.* — Toutes les parties peintes recevront d'abord une couche de ruse, puis un ponçage et un masticage soignés, ensuite 3 à 5 couches de inture et enfin une couche de vernis.
Les circuits de trôlet et d'éclairage devront être mis en place avant l'exé-tion de la peinture. Les lampes électriques seront au nombre de 5, dont 3 l'intérieur et 1 sur chaque plate-forme.

*Conditions générales d'exécution.* — Toutes les matières employées devront re de la meilleure qualité et mises en œuvre suivant toutes les règles de l'art. Les ceintures et brancards seront d'une seule pièce. Les tenons devront ajuster bien exactement dans leurs mortaises, sans cales de remplissage.

---

ANNEX

CAHIER DE CHAR

PO

LA FOURNITUR

— Truck à châssis forgé d'une

sions :

Écartement des essieux . . .
Distance entre les axes des ress
extrêmes . . . . . .
Longueur des semelles supérieu
Hauteur des semelles supérieu
rails (avec des roues de 0,762
Largeur entre les bords extér
(voie de 1,435 m.) . . . . .
Diamètre des roues . . . . . .
Longueur du moyeu des roues
Diamètre du moyeu des roues.
Diamètre des essieux. . . . . .
Longueur des essieux . . . . .
Diamètre des fusées . . . . . .

*et essieux.* — Les roues seront
d'au moins 20 p. 100 de fonte
rebutées. La surface de roulemen
au moule à contraction jusqu'à
mm. au plus, puis tournées, apr
seront en acier puddlé de la quali
présentant une résistance
allongement de 20 p. 100 mesuré s
à la presse hydraulique sur
avoir été grossièrement tournée
par la presse ne sera pas inférieur

*à graisse.* — L'ensemble du tru
intermédiaire de boites à graisse d
en fonte grise de la meilleure qualit
à huile d'environ 1 litre de cap
ressort embrassant l'arbre sur les 2

ÉLECTRIQUE.

Digitized by Google

## ANNEXE N° 6

### CAHIER DE CHARGES AMÉRICAIN

POUR

# LA FOURNITURE DE TRUCKS

*Type.* — Truck à châssis forgé d'une seule pièce.

*Dimensions :*

| | |
|---|---|
| Écartement des essieux | 1,829 m. |
| Distance entre les axes des ressorts de suspension extrêmes | 4,421 — |
| Longueur des semelles supérieures | 4,726 — |
| Hauteur des semelles supérieures au-dessus des rails (avec des roues de 0,762 m.) | 0,661 — |
| Largeur entre les bords extérieurs des semelles (voie de 1,435 m.) | 1,829 — |
| Diamètre des roues | 0,762 — |
| Longueur du moyeu des roues | 0,127 — |
| Diamètre du moyeu des roues | 0,191 — |
| Diamètre des essieux | 0,095 — |
| Longueur des essieux | 1,956 — |
| Diamètre des fusées | 0,082 — |

*Roues et essieux.* — Les roues seront fabriquées avec de la fonte au bois, composée d'au moins 20 p. 100 de fonte « Salisbury » et de 20 p. 100 au plus de roues rebutées. La surface de roulement et la face interne du boudin seront trempées au moule à contraction jusqu'à une profondeur de 16 mm. au moins et de 22 mm. au plus, puis tournées, après calage de la roue sur l'essieu. Les essieux seront en acier puddlé de la qualité admise sur le Pennsylvania R. R., c'est-à-dire présentant une résistance à la traction de 42 kg. par mm² et un allongement de 20 p. 100 mesuré sur un barreau de 0,20 m. Les roues seront calées à la presse hydraulique sur l'essieu, dont les portées de calage devront avoir été grossièrement tournées, puis enduites de céruse ; l'effort exercé par la presse ne sera pas inférieur à 25 t., ni supérieur à 30 t.

*Boîtes à graisse.* — L'ensemble du truck reposera sur les fusées d'essieu par l'intermédiaire de boîtes à graisse du type « compensateur ». Ces boîtes seront en fonte grise de la meilleure qualité et munies à leur partie inférieure d'un puits à huile d'environ 1 litre de capacité, qui recevra un tampon graisseur à ressort embrassant l'arbre sur les 2/3 de sa circonférence.



Digitized by Google

*Coussinets.* — Les coussinets seront en métal « Ajax »[1] ; ils auront 152 mm. de longueur et 130 cm² au moins de surface frottante.

La face inférieure du coussinet sera tournée et polie à la machine de façon à s'ajuster parfaitement sur la fusée. Sa face supérieure aura une forme légèrement sphérique, afin de parer aux inégalités de la surface de la boite, ainsi qu'aux changements de position brusques de la fusée provenant des irrégularités de la voie.

*Obturateurs.* — Chaque boite portera sur sa face interne deux bagues saillantes venues de fonte, de diamètre différent, dans l'intervalle desquelles viendra s'intercaler une troisième bague faisant corps avec un manchon en fonte malléable calé sur l'essieu.

Dans le creux de ce manchon sera logée une rondelle obturatrice en fibre vulcanisée de 3 mm. d'épaisseur, tenue en place par des ergots la forçant de tourner avec le manchon et fortement pressée d'autre part par la plus petite des deux premières bagues, de façon à réaliser un joint parfaitement étanche à l'huile et à la poussière.

*Fourchettes d'arrêt.* — La boite à huile et la fusée seront constamment maintenues dans la même position relative par une fourchette en métal « Ajax » de 16 mm. d'épaisseur, engagée dans une cannelure de la fusée et dont les bords extérieurs coulisseront dans des rainures verticales de 9,5 mm. de profondeur ménagées dans les parois de la boite.

*Couvercles de boites.* — Le couvercle de la boite sera en fonte malléable, avec garniture intérieure en fibre vulcanisée de 1,6 mm. Les bords du joint seront rabotés de manière à assurer une étanchéité absolue.

*Châssis.* — Le châssis sera formé de deux longerons et de deux traverses extrêmes assemblés entre eux par 8 boulons de 22 mm.

Les longerons seront en fer, forgés d'une seule pièce en partant de billettes de fer brut à section carrée de 0,10 m. de côté, avec fourches recourbées en U renversé formant plaques de garde. Ces fourches auront 64 × 76mm. de section sur les côtés et à leur partie supérieure et 64 × 89 mm. aux angles; elles descendront de chaque côté jusqu'à 38 mm. au-dessous de l'arête inférieure des longerons, pour bien guider la boite à graisse sur toute sa hauteur. Le dessus de la fourche sera à 165 mm. de l'arête supérieure des longerons. Ceux-ci auront 64 × 102 mm. de section auprès des fourches ; à 0,25 m. de distance de part et d'autre de l'axe de chaque fourche, ils porteront un renflement cylindrique de 96 mm. de diamètre, percé d'un trou de 44 mm. pour le passage des tiges de ressorts. Entre les deux renflements intermédiaires, la section des longerons sera de 32 × 102 mm. Ils se prolongeront au delà des fourches sur 0,89 m. de longueur (mesurée entre l'axe de la fourche et celui des ressorts de suspension extrêmes). Ces prolongements auront 38 × 102 mm. de section auprès du renflement extérieur et 38 × 57 mm. seulement à l'extrémité. La longueur totale de chaque longeron sera de 3,914 m., sa hauteur extrême, du dessus de la fourche à la partie inférieure des glissières, de 311 mm., et son épaisseur maxima (sièges des ressorts extrêmes) de 133 mm.

[1] Alliage composé en grande partie de bronze phosphoreux.

Digitized by Google

Si le moteur choisi doit être suspendu élastiquement sur traverse, il y aura lieu de ménager dans les longerons des renflements supplémentaires analogues à ceux ci-dessus décrits et d'un diamètre de 82 mm.

Les traverses extrêmes du châssis seront également en fer et forgées d'une seule pièce; elles auront 22 × 76 mm. de section ; leurs extrémités seront repliées à angle droit de manière à former un patin de 152 mm. de longueur qui sera boulonné sur les longerons.

*Supports des ressorts de suspension.* — Les boîtes à graisse porteront à leur partie inférieure des consoles venues de fonte, en saillie de 152 mm., qui serviront de sièges à des ressorts à boudin de 89 mm. de longueur servant à la suspension du châssis du truck; chaque console devra être capable de supporter une charge de 13 600 kg.

*Semelles.* — La caisse reposera sur le châssis par l'intermédiaire d'une autre série de ressorts, réunis à leur partie supérieure par des semelles ou barres longitudinales en fer plat de 19 × 70 mm. de section, incurvées vers le bas au droit de chaque ressort de manière à rendre les écrous d'attache toujours accessibles. Ces ressorts seront séparés des semelles par des chapeaux boulonnés sous la face inférieure de la semelle.

*Tiges de ressorts.* — Les tiges de ressorts seront en acier à outils rond de 33 mm. de diamètre, avec portées coniques aux deux extrémités. Toutes les tiges seront reliées entre elles à leur extrémité inférieure par un tirant formé d'un tube fort de 38 mm. de diamètre, terminé par deux barres soudées de 51 × 19 mm. auxquelles seront fixées les tiges de ressorts. Ce tirant portera à chaque extrémité une douille en fonte destinée à recevoir une armature dans le cas où on emploierait des caisses extra-longues.

*Ressorts.* — Le truck comportera, comme il vient d'être dit, deux séries indépendantes de ressorts : 1° les ressorts de suspension du châssis sur les boîtes à graisse ; 2° les ressorts de suspension de la caisse sur le châssis.

Les premiers seront des ressorts à boudin de 89 mm. de longueur et 108 mm. de diamètre extérieur, pouvant supporter une charge de 2 500 kg. chacun, avec un jeu de 25 mm. Ces ressorts reposeront sur les consoles des boîtes à graisse par l'intermédiaire d'une rondelle en caoutchouc de 9,5 mm. d'épaisseur et 108 mm. de diamètre, destinée à prévenir la cristallisation du métal; une rondelle plate de 3 mm. sera interposée entre le ressort et le caoutchouc pour empêcher celui-ci d'être coupé. Chacun d'eux sera coiffé d'un chapeau à rebord en fonte malléable, portant en son centre une saillie ronde pénétrant de 22 mm. à l'intérieur du ressort et à sa partie inférieure deux bourrelets embrassant le longeron et maintenant le ressort en ligne.

Les ressorts de suspension de la caisse seront de deux espèces et de deux forces différentes: ce seront d'abord des ressorts à boudin, placés de chaque côté des plaques de garde, à 0,25 m. de l'axe de la fourche, et destinés à entrer en jeu lors des oscillations verticales de la voiture ; ils devront avoir 178 mm. de longueur et 108 mm. de diamètre et pouvoir supporter chacun une charge de 1 150 kg., avec un jeu de 51 mm. ; ils seront maintenus en position à leur extrémité inférieure par une boîte en fonte malléable, portant au centre une saillie ronde de 22 mm. pénétrant à l'intérieur du ressort et munie vers le bas de

Digitized by Google

bourrelets embrassant les renflements des longerons, et à leur extrémité supérieure par des boîtes du même genre fixées aux semelles par l'intermédiaire des tiges de ressorts. La seconde catégorie de ressorts sera formée par des ressorts à lames montés sur les sièges ménagés dans ce but à chaque extrémité des longerons. Ces ressorts auront 914 mm. de longueur et seront composés de 5 lames de 76 × 8 mm. de section ; chacun d'eux devra pouvoir supporter une charge de 1 400 kg., avec un jeu de 64 mm. Ils seront assujettis sur leur siège par des étriers en fer rond de 16 mm. avec écrou et rondelle à ressort. Les extrémités de ces ressorts à lames porteront sur des pièces d'usure en fonte malléable boulonnées sous la semelle et munies latéralement de bourrelets destinés à empêcher le ressort de prendre un jeu transversal excessif, tout en lui permettant de s'allonger.

*Freins.* — Les freins seront suspendus au châssis par des biellettes formant un certain angle avec la verticale, de façon que le poids des sabots tende à les écarter des roues quand les freins ne sont pas serrés. Ces biellettes, au nombre de deux par sabot, seront constituées par des tiges de fer rond de 19 mm. aplaties à leurs extrémités pour recevoir un boulon de 22 mm. Chaque paire de biellettes sera suspendue à une console en fonte malléable traversée par une tige en acier de 22 mm. servant de pivot et fixée au longeron par des boulons de 19 mm. A leur partie inférieure, ces biellettes seront attachées au support du sabot par un boulon en acier de 19 mm. Les supports de sabots, du type Christie, en fonte malléable, seront reliés par paires à deux traverses.

Celles-ci seront en acier et mesureront 102 × 25 mm. sur 1,524 m. de longueur ; à 28 mm. de leur milieu sera rivée une chape en fonte malléable, autour de laquelle pivotera l'extrémité du levier de frein.

Les balanciers compensateurs seront en même métal et auront même section que les traverses porte-sabots. Le balancier et la traverse seront montés avec 25 mm. d'intervalle entre leurs faces adjacentes.

A 28 mm. du milieu de chaque balancier, du côté opposé à la chape de la traverse, sera fixée une seconde chape semblable articulée sur le levier de frein. Celui-ci sera en fer forgé et aura 64 × 25 mm. de section à l'une de ses extrémités et 64 × 19 mm. à l'autre ; sa longueur entre les axes des trous extrêmes sera de 590 mm.

*Tringles de connexion.* — A chaque extrémité des balanciers compensateurs seront rivés des étriers en fonte malléable à travers lesquels passeront les tringles de connexion ; ces étriers seront munis d'une clavette empêchant l'écrou de réglage placé à l'extrémité de la tringle de tourner. Les tringles seront en fer rond de 25 mm., filetées à chaque extrémité sur 152 mm. de longueur pour recevoir un écrou de rattrapage de jeu.

Les sabots seront du modèle Christie, en fonte grise douce, avec 5 morceaux de fer forgé demi-rond de 38 mm. de longueur sur 19 mm. de diamètre insérés dans la face frottante.

*Ressorts de rappel.* — Les ressorts de rappel des sabots seront formés par des lames d'acier de 51 × 6 mm., recourbées en forme de crosse. Ils seront fixés par leur extrémité supérieure à la console de support des biellettes et leur

Digitized by Google

extrémité inférieure s'engagera dans une fente ménagée dans le support du sabot; leur tension sera réglée de manière à assurer le rappel des sabots.

*Supports du moteur.* — Une traverse en fer forgé de 115 × 19 mm. sera disposée au centre du truck pour supporter le moteur ; elle sera suspendue sur les longerons par des ressorts de tension et de compression, si le moteur n'est pas muni lui-même de ressorts.

*Garde-roues.* — A chaque extrémité des longerons sera fixée par 2 boulons de 16 mm. une console en fonte malléable à nervures, supportant un garde-roues formé d'un madrier transversal de 191 mm. de hauteur et 51 mm. d'épaisseur laissant 115 mm. de hauteur libre au-dessus du rail.

*Armatures.* — Le truck sera disposé pour recevoir éventuellement des armatures pour caisse extra-longue. Ces armatures consisteront en tubes forts de 38 mm., s'ajustant dans les douilles mentionnées plus haut et aboutissant aux brancards de la caisse. La longueur de ces tirants variera suivant le type et la longueur de la voiture. Pour une caisse fermée de 5,48 m. montée sur un truck de 1,981 m. d'empattement, cette longueur ne sera pas inférieure à 1,295 m., et elle augmentera ou diminuera avec la longueur de la caisse en raison inverse de l'empattement; pour une voiture ouverte à 10 banquettes, cette longueur ne sera pas inférieure à 1,829 m.

Les trucks ne sont destinés à recevoir qu'un moteur. L'un des essieux sera, par suite, laissé brut; l'autre sera tourné et poli et muni d'une rainure de clavetage.

---

Digitized by Google

## ANNEXE N° 7

### TRAMWAY ÉLECTRIQUE DE PARIS A ROMAINVILLE

### CAHIER DES CHARGES

POUR LA

# FOURNITURE DES VOITURES

*Matériel.* — Tout le matériel employé pour la construction des voitures sera de première qualité. Pour les parties métalliques, elles répondront aux prescriptions en usage sur les grandes compagnies de chemins de fer français.

Pour le bois, on n'emploiera que des morceaux sains, solides et exempts de défauts pouvant en compromettre la solidité.

Toutes les jonctions de bois et de pièces en fer seront d'abord enduites de peinture à la céruse. Les parties de boiseries assemblées seront également peintes avant l'assemblage.

### CONDITIONS GÉNÉRALES

Les dimensions principales du matériel seront les suivantes, savoir :

La largeur extérieure, toutes saillies comprises, notamment celle des marchepieds latéraux, sera au minimum de 2,00 m.

La hauteur totale depuis le dessus du rail jusqu'au-dessus de la toiture d'impériale sera au maximum de 4,20 m.

La longueur totale de la voiture, y compris tampons, sera de 8,70 m.

Les voitures seront disposées pour recevoir :

| | | |
|---|---|---|
| Voyageurs | à l'intérieur . . . . . | 20 |
| — | à l'impériale . . . . . | 26 |
| — | debout sur la plate-forme . . . . . | 6 |
| | Total. . . . . | 52 voyageurs. |

### CONSTRUCTION DES CHASSIS

Les châssis seront construits au moyen de longerons en acier ; les prolongements de ces longerons à chaque extrémité de la caisse constitueront les supports de plates-formes.

Digitized by Google

Les longerons seront réunis entre eux au moyen de traverses en acier, et l'écartement des essieux sera maintenu par des glissières et entretoises rivées et boulonnées sur lesdits longerons.

A chacune des extrémités du châssis, il y aura deux chaînes de sûreté et un appareil de tamponnement central.

L'extrémité, côté de la plate-forme des voyageurs, sera munie d'une barre d'attelage de traction pour la remorque de voitures légères. Les tampons et barres d'attelage seront munis de ressorts afin d'amortir les chocs.

Les essieux montés seront du type avec centre en fer à rayons droits. Les essieux et bandages seront en acier. Ces essieux montés seront exécutés en matière en usage sur nos grandes compagnies de chemins de fer français. Les essieux, tournés sur toute leur longueur, porteront des embases avec portées pour les coussinets des dynamos. Ces portées seront soigneusement tournées et planées comme les fusées. Les bandages seront tournés et calibrés.

Les boîtes à huile seront en acier coulé en deux parties; les coussinets en bronze seront soigneusement ajustés dans les boîtes.

Les châssis devront être actionnés par un frein à vis à 4 sabots d'un serrage énergique. La commande de ce frein se fera de la plate-forme avant, par la le moyen d'une vis de serrage rapide.

Les véhicules seront, en outre, munis de sablières agissant sur l'essieu d'avant avec mécanisme à la portée de la main du mécanicien.

## CAISSES

Le cadre inférieur de la caisse et une partie de la charpente seront en chêne; les montants, courbes de toiture et traverses seront en bois de frêne sec.

Les parties vues à l'intérieur des voitures seront en frises de bois de pitchpin verni au pinceau.

Les montants et traverses des châssis à glace, les encadrements de ces châssis à glace, les traverses supérieures des dossiers de sièges, les longerons de devant de parclose seront en teak verni.

Les frises de pavillon, des plates-formes, des impériales, les planchers seront en sapin de première qualité, peint.

L'extérieur des caisses sera recouvert d'une tôle d'acier bien tendue de 1,5 mm. d'épaisseur.

Les planchers de caisses et de plates-formes seront garnies de grillages en lattes de bois.

Les baies latérales seront munies de châssis vitrés en verre double de la plus belle qualité. Ces châssis seront munis de clefs en velours, pour éviter le bruit.

Les voitures auront à l'avant un compartiment fourgon pour le transport des bagages et denrées. Ce compartiment sera muni d'une portière d'accès latérale du côté droit et d'une fausse porte du côté gauche. Cette portière sera à charnière et se rabattra contre la voiture.

A l'avant du compartiment fourgon sera la plate-forme du mécanicien ; ladite plate-forme sera bordée d'une balustrade en tôle, l'accès en sera donné par une porte à l'usage spécial du mécanicien.

Les voitures auront à l'arrière une plate-forme à voyageurs; un escalier tournant partant de la plate-forme donnera accès à l'impériale.

Digitized by Google

L'accès de cette plate-forme aura lieu sur le côté droit de la voiture, l'escaer d'impériale étant placé à gauche. Une balustrade de 1 m. de hauteur en er solidement fixée entourera cette plate-forme.

Les banquettes d'impériale seront formées de lames en bois de sapin longiudinales à angles arrondis et espacées les unes des autres.

Un clayon mobile en grisard fixé sur des tasseaux en chêne régnant tout utour de l'impériale empêchera les voyageurs de marcher sur la couverture.

Le pavillon d'impériale sera supporté au droit des faces par des colonnes en er, également au milieu par des colonnes en fer après lesquelles seront fixées s lames de dossier des sièges.

Les balustrades d'impériale seront formées des colonnes en fer ci-dessus au roit des faces et d'une rampe cylindrique en fer.

La couverture de la caisse sera en zinc n° 14 et en toile peinte et apprêtée à ı céruse, pour la partie située sous les banquettes d'impériale.

La couverture d'impériale sera en toile enduite.

La cloison d'avant portera une baie vitrée fixe.

Deux banderoles en bois destinées à recevoir les inscriptions seront fixées ır les balustrades de chacune des faces. Il y aura aussi, suivant la demande, ne banderole mobile à l'avant et une à l'arrière.

La garniture intérieure des caisses sera faite en drap gris mastic, comme elui des premières classes des grandes compagnies de chemins de fer français.

Elle sera exécutée suivant les indications des plans; les coussins pour la artie en dessous reposant sur les parcloses seront garnis de treillis gris ou oir; la garniture sera rembourrée en crin animal; toutes les garnitures seront onfectionnées avec enveloppe de cretonne avant l'apposition du drap; elles eront de plus relevées par des galons laine et soie suivant types choisis.

Les baies de face seront munies de stores avec étoffe ventilateur, du genre e la Compagnie générale des Omnibus et suivant un dessin choisi.

Deux mains courantes en fer creux, formant tirant, régneront sous le pavilon à la portée des voyageurs circulant entre les banquettes de l'intérieur.

L'éclairage sera fait à l'électricité.

Le « complet » se fera le jour par une plaque mobile dégageant une insription transparente, qui sera éclairée pendant la nuit. La manœuvre de ette plaque sera produite par deux engrenages à 90° actionnés par une petite ıanivelle.

La sonnerie à timbre sera installée dans les conditions habituelles des tramays de Paris et du département de la Seine, suivant modèle qui sera soumis.

## PEINTURES ET INSCRIPTIONS

La peinture sera exécutée comme suit :

Toutes les ferrures recevront une couche de minium de fer.

Les caisses recevront à l'extérieur :

1° Un ponçage à l'essence;

2° Une couche de blanc de céruse;

3° Quatre couches d'apprêt pour ponce;

4° Un masticage au vernis;

Digitized by Google

5° Une couche de guide;
6° Un ponçage;
7° Deux couches de noir pour les parties en noir;
8° Deux couches de teinte pour les autres parties;
9° Une couche totale de vernis à polir;
10° Un polissage à la ponce en poudre;
11° Les filages et inscriptions;
12° Une couche de vernis à finir.

Les dessus de caisse seront peints en noir au vernis brillant.

A l'intérieur, les parties vues de boiseries de caisse recevront au moins deux couches de vernis avec les masticages et revisions nécessaires pour boucher tous les pores du bois.

Les châssis recevront :

1° Une couche d'impression en gris;
2° Un masticage;
3° Une couche de noir de fumée;
4° Une couche de vernis.

Les roues, les ferrures de frein et autres ferrements recevront une couche de noir brillant après les impressions indiquées ci-dessus.

## MOTEURS

Chaque voiture sera munie de deux moteurs. La puissance maxima que ces deux moteurs devront fournir correspond à la rampe de 0,045 m. par mètre et à la marche d'une automobile avec une voiture remorquée (poids total maximum = 10 + 4 = 14 t.).

Dans ces conditions, l'effort total à développer à la jante des roues est d'environ 770 kg.; la vitesse sera de 3,05 m. par seconde, soit 11 kilomètres à l'heure, et la puissance à fournir aux bornes des moteurs sera de 3 200 watts. Avec des rampes moindres, la vitesse croîtra naturellement au delà de la vitesse ci-dessus et sera ramenée à telle valeur qu'on voudra par la manœuvre du commutateur à combinaisons, muni de son rhéostat.

Chaque moteur reposera d'une part sur un essieu au moyen de deux paliers ou boites à huile avec tampon graisseur et d'autre part sur deux suspensions élastiques reposant sur une traverse métallique.

L'arbre de chaque moteur reposera sur deux paliers graisseurs à bague et portera à l'une des extrémités un pignon en acier dur taillé de 15 dents, de 120 mm. de diamètre primitif, engrenant avec une roue en acier moulé au creuset de 75 dents, en deux parties de 600 mm. de diamètre primitif.

Ces moteurs seront complètement enfermés; mais il sera facile par l'intermédiaire d'une trappe pratiquée sur le plancher de la caisse de visiter les balais, le collecteur, l'induit et l'inducteur. La culasse des moteurs sera démontable en deux parties; il sera facile de monter ou démonter un moteur sur la fosse. Les essieux des voitures porteront 2 fois 2 collets venus de forge pour maintenir les coussinets des boites à huile des moteurs. Le diamètre des tourillons d'appui correspondants devra être de 110 mm. Au-dessous des moteurs et dans l'axe de la voiture, entre le point le plus bas et le sol, on disposera d'une hauteur d'au moins 180 mm.

Digitized by Google

Les moteurs seront établis pour effectuer le parcours de la place de la République, à Paris, jusqu'à Romainville, c'est-à-dire dans le sens de la plus grande fatigue, sans échauffement anormal et avec un fonctionnement des balais satisfaisant.

### VOITURES D'ATTELAGE

Les voitures d'attelage seront construites dans les mêmes conditions générales que les voitures automobiles.

Elles pourront transporter 40 voyageurs et seront conformes aux plans et dessins adoptés.

---

ANNEX

SOUMIS

POUR

FOURNITURE DE LOCOM

TYPE BALDWIN-W

OBJET DE LA S

La présente soumission s'applique à la
à — moteurs et à — paires de r
d'accouplement.

DESCRIPTION GÉNÉRALE

*Disposition d'ensemble.* — La dispositio
figures sur les dessins ci-annexés.

*Dimensions.* — Roues motrices de — m.
Entraînement des essieux extrêmes, — m.
— m. Type de moteurs, —. Voltage, —

*Poids.* — Poids total en ordre de ma

*Gabarit.* — Hauteur maxima, — m. ; la
— m.

(Suivant l'espèce.)

CHASSI

TRUCK

*Type.* — Trucks articulés à pivot centra

*Châssis de trucks.* — Châssis en tôle et fe
une oscillante (ou pivot fixe).

*Roues motrices.* — Nombre, — ; diamètr
bandage.

*Bandages* en acier coulé de — mm. d'ép
— mm. de largeur ; — paires sans boudin,

*Hauteur* en fer (ou en acier) ; fusées de —
hauteur.

Digitized by Google

# ANNEXE N° 8

## SOUMISSION

POUR LA

## FOURNITURE DE LOCOMOTIVES ÉLECTRIQUES

TYPE BALDWIN-WESTINGHOUSE

### OBJET DE LA SOUMISSION

La présente soumission s'applique à la fourniture de — locomotives électriques, à — moteurs et à — paires de roues motrices, avec (ou sans) bielles d'accouplement.

### DESCRIPTION GÉNÉRALE DES LOCOMOTIVES

*Disposition d'ensemble.* — La disposition d'ensemble de ces locomotives est figurée sur les dessins ci-annexés.

*Dimensions.* — Roues motrices de — m. de diamètre. Largeur de voie, — m. Écartement des essieux extrêmes, — m. Écartement des essieux moteurs, — m. Type de moteurs, —. Voltage, —.

*Poids.* — Poids total en ordre de marche, — kg. Poids adhérent, — kg.

*Gabarit.* — Hauteur maxima, — m. ; largeur extrême, toutes saillies comprises, — m.

### CHASSIS

(Suivant l'espèce.)

### TRUCKS

*Type.* — Trucks articulés à pivot central, à — roues en —.

*Châssis de trucks.* — Châssis en tôle et fers profilés, avec entretoises et traverse oscillante (ou pivot fixe).

*Roues motrices.* — Nombre, — ; diamètre, -- m. ; centre en — de — m. de diamètre.

*Bandages* en acier coulé de — mm. d'épaisseur ; — paires avec boudin, de — mm. de largeur ; — paires sans boudin, de — mm. de largeur.

*Essieux* en fer (ou en acier) ; fusées de — mm. de diamètre et — mm. de largeur.

Digitized by Google

*i graisse* en fonte, avec coussinets en bronze.

*s* en acier au creuset, trempés à l'huile.

— Bielles d'accouplement en acier (ou en fer), avec têtes d'une
:e et coussinets en bronze mis en place à la presse hydraulique.

*ige.* — La lubrification de tous les paliers sera assurée par des grais-
propriés. Les têtes de bielles seront munies de graisseurs à mèche
uille).

*lles.* — Manivelles en acier (ou en fer).

ACCESSOIRES

*de mécanicien.* —.

*-pierres* en bois armé de fer.

*oires.* — Chaque machine sera munie de — boîtes à sable, d'un sup-
fanal, d'un sifflet et d'un assortiment complet d'outils comprenant
ent : 2 forts vérins, 1 pince, 1 jeu de clefs, 2 marteaux, 3 ciseaux à
burette à huile à long col d'un litre, 1 bidon de 9 litres.

. —.

:. —.

CONDITIONS D'EXÉCUTION

èces principales de la machine seront fabriquées sur gabarit et devront
faitement interchangeables.
s les parties frottantes seront en bronze phosphoreux.
les filetages seront étalonnés.

QUALITÉ DES MATÉRIAUX

les matériaux employés dans la construction seront de la meilleure
et devront satisfaire aux épreuves suivantes, qui n'auront d'ailleurs
ur effet de dégager la responsabilité du constructeur au cas où un
quelconque apparaîtrait une fois la machine en service.

— Le fer en barres présentera une résistance à la traction de 35 kg.
n² et un allongement de 20 p. 100 mesuré sur un barreau de 0,05 m.
gueur Si la résistance est inférieure à 33,6 kg. ou l'allongement à
00 ou bien si la cassure est grenue, le métal pourra être refusé.

*s.* — On n'emploiera dans la construction des châssis que des tôles
provenant de lingots bien homogènes et exemptes de tout défaut
ciel. Une bande découpée dans le sens du laminage sur une tôle prise
ard dans la fourniture devra pouvoir être pliée à froid sur un mandrin
liamètre égal à 1,5 fois son épaisseur sans présenter de criques ni de
es.



*ier.* — Les pièces en acier forgé serc
de 0,05 de phosphore. Une éprouv
de 0,10 m. de diamètre devra prés
kg. par mm² et un allongement de 20
traction sera moindre que 52,5 kg.
l'allongement sera moindre que 15

*ier à ressorts.* — Les ressorts seront
physique et présentant la composi

Carbone . . . . . .
Manganèse. . . . . .
Phosphore . . . . . .
Silicium . . . . . .
Soufre. . . . . .
Cuivre. . . . . .

métal employé renferme moins de C
plus de 0,50 p. 100 de manganès
de 0,25 p. 100 de silicium, plus de 0
100 de cuivre, il pourra être refusé.

*bronze phosphoreux.* — Le bronze pou
neufs, alliés dans la proportion s

Cuivre. . . . . .
Étain . . . . . .
Plomb. . . . . .
Phosphore . . . . . .

métal pourra être refusé s'il conti
100 d'étain, moins de 8 p. 100 ou
de 0,70 p. 100 ou plus de 1 p. 100
refusé s'il contient plus de 0,50 p. 100

ÉQUIPEMENT ÉL

*Moteurs.* — Les moteurs seront du t
armature ventilée, collecteur formé
mica, et bobinage symétrique. T
façon la plus parfaite. L'entrefer
devra être pratiquement étanche
percée d'un judas à la partie supérie
Alecteur et d'une trappe à fermeture é
porte-balais seront ajustables. Les
puits à huile et d'une boite à graiss
toute pénétration du lubrifiant à l'in

*Engrenages.* — Les roues et pignons d
fonte malléable de la meilleure qual

Digitized by Google

*Acier.* — Les pièces en acier forgé seront en métal Martin ne contenant pas plus de 0,05 de phosphore. Une éprouvette de 0,05 m. découpée dans une barre de 0,10 m. de diamètre devra présenter une résistance à la traction de 56 kg. par mm² et un allongement de 20 p. 100. Les lingots dont la résistance à la traction sera moindre que 52,5 kg. ou supérieure à 63 kg. par mm² ou dont l'allongement sera moindre que 15 p. 100 seront refusés.

*Acier à ressorts.* — Les ressorts seront en acier au creuset, exempt de tout défaut physique et présentant la composition suivante :

| | | |
|---|---|---|
| Carbone | 1,00 p. 100 | |
| Manganèse | 0,25 — | |
| Phosphore | 0,03 — | au plus |
| Silicium | 0,15 — | |
| Soufre | 0,03 — | |
| Cuivre | 0,03 — | |

Si le métal employé renferme moins de 0,90 ou plus de 1,10 p. 100 de carbone, ou bien plus de 0,50 p. 100 de manganèse, plus de 0,05 p. 100 de phosphore, plus de 0,25 p. 100 de silicium, plus de 0,05 p. 100 de soufre ou plus de 0,05 p. 100 de cuivre, il pourra être refusé.

*Bronze phosphoreux.* — Le bronze pour pièces frottantes sera composé de métaux neufs, alliés dans la proportion suivante :

| | |
|---|---|
| Cuivre | 79,70 p. 100 |
| Étain | 10,00 — |
| Plomb | 9,50 — |
| Phosphore | 0,80 — |

Le métal pourra être refusé s'il contient moins de 9 p. 100 ou plus de 11 p. 100 d'étain, moins de 8 p. 100 ou plus de 11 p. 100 de plomb, ou bien moins de 0,70 p. 100 ou plus de 1 p. 100 de phosphore. Il pourra également être refusé s'il contient plus de 0,50 p. 100 de substance étrangère.

## ÉQUIPEMENT ÉLECTRIQUE

*Moteurs.* — Les moteurs seront du type cuirassé à pôles conséquents, avec armature ventilée, collecteur formé de barres de cuivre moulées isolées au mica, et bobinage symétrique. Tous les enroulements seront isolés de la façon la plus parfaite. L'entrefer sera aussi grand que possible. La cuirasse devra être pratiquement étanche à l'humidité et à la poussière ; elle sera percée d'un judas à la partie supérieure pour l'inspection des balais et du collecteur et d'une trappe à fermeture étanche à la partie inférieure.

Les porte-balais seront ajustables. Les paliers d'armature seront munis d'un puits à huile et d'une boîte à graisse supérieure ; une collerette empêchera toute pénétration du lubrifiant à l'intérieur du moteur.

*Engrenages.* — Les roues et pignons d'engrenages seront en acier moulé (ou en fonte malléable de la meilleure qualité), et leurs génératrices n'auront

Digitized by Google

de — mm. de longueur. Le pignon sera forcé sur une portée laveté et maintenu en place par un écrou. Les engrenages tour- ain d'huile dans une boite étanche, solidement fixée au moteur.

*urs.* — Les régulateurs seront disposés pour la régulation série- u autre) et établis de manière à permettre aux moteurs de déve- pleine puissance sans que les contacts du régulateur s'échauffent exagérée ; les frotteurs présenteront la forme la plus pratique et és aussi parfaitement que possible.

*s de prise de courant.* — Les appareils de prise de courant auront ion la plus convenable pour le service prévu et seront construits tes les règles de l'art.

*s.* — Les rhéostats seront en fer, isolés au mica et ventilés aussi nt que possible.

— Tous les câbles seront aurant que possible logés soit dans des plomb ou en fer, soit sous une enveloppe en forte toile et caout- ant leur emplacement.

*es.* — Chaque locomotive sera pourvue de tous les accessoires élec- essaires pour son bon fonctionnement.

---

ANNE

CHEMINS DE FER

CAHIER D

POU

FOURNITURE D'AUTO

A MOTEUR

OBJET DE L

Quatre lots distincts comportant cha
pement électrique d'une voiture auto
L'entreprise comprend notamment
accessoires, les appareils de manœuvr
placement de ces organes sur une vo
frais de port, de douane, de droits, de
Le soumissionnaire joindra à sa so
les appareils proposés, ainsi que le sc
En général, l'équipement sera étud
adaptation parfaite à la voiture dont l
Le programme à suivre est exposé c

*Conditions spéciales.* — Les moteu
de deux par voiture, montés sur les ess
sous l'intermédiaire d'organes réducte
L'enroulement de l'excitation norm
tique sera renforcé par un enroulemen
constituera en partie les résistances
circuit lorsque la vitesse aura attein
groupements des induits.
Sous la tension de 500 volts, les deu
116 tours à la minute lorsque l'intensi
le champ magnétique étant excité pa
ces conditions le rendement industrie
L'affaiblissement graduel du champ
commande dont il est parlé plus loin,
minute, le courant étant encore de
rendement industriel, dans ces condit
Groupés en parallèle, sous la tensio
lation obtenu par le shunt seul, et

Digitized by Google

## ANNEXE N° 9

### CHEMINS DE FER DE L'ÉTAT BELGE

### CAHIER DES CHARGES

POUR LA

# FOURNITURE D'AUTOMOBILES ÉLECTRIQUES

A MOTEURS GEARLESS

#### OBJET DE L'ENTREPRISE

Quatre lots distincts comportant chacun la fourniture et le montage de l'équipement électrique d'une voiture automobile, à l'exception des accumulateurs.

L'entreprise comprend notamment pour chaque lot les moteurs et leurs accessoires, les appareils de manœuvre et de mesure et le câblage, ainsi que le placement de ces organes sur une voiture à fournir par l'administration, les frais de port, de douane, de droits, de brevets, d'études et autres.

Le soumissionnaire joindra à sa soumission les plans succincts et le devis des appareils proposés, ainsi que le schéma des connexions à établir entre eux.

En général, l'équipement sera étudié par le soumissionnaire en vue de son adaptation parfaite à la voiture dont les plans seront remis.

Le programme à suivre est exposé ci-après :

*Conditions spéciales.* — Les moteurs à courant continu seront au nombre de deux par voiture, montés sur les essieux intermédiaires et actionnant ceux-ci sans l'intermédiaire d'organes réducteurs de vitesse.

L'enroulement de l'excitation normale sera shunt, mais le champ magnétique sera renforcé par un enroulement en série avec l'induit. Cet enroulement constituera en partie les résistances de démarrage; il sera entièrement hors circuit lorsque la vitesse aura atteint sa valeur minimum dans chacun des groupements des induits.

Sous la tension de 500 volts, les deux moteurs groupés en série tourneront à 116 tours à la minute lorsque l'intensité totale du courant atteindra 150 amp., le champ magnétique étant excité par l'enroulement shunt seulement. Dans ces conditions le rendement industriel ne sera pas moindre que 0,75.

L'affaiblissement graduel du champ magnétique, obtenu par les appareils de commande dont il est parlé plus loin, élèvera la vitesse jusqu'à 173 tours par minute, le courant étant encore de 150 amp. et la tension de 500 volts. Le rendement industriel, dans ces conditions, atteindra au moins 0,80.

Groupés en parallèle, sous la tension de 500 volts, avec le maximum d'excitation obtenu par le shunt seul, et une intensité totale de 150 amp., les

Digitized by Google

eurs tourneront à la vitesse de 231 tours par minute; le rendement indus- ne sera pas moindre que 0,80.

: même affaiblissement du champ magnétique que dans le cas des moteurs ıpés en série permettra d'élever la vitesse des moteurs en parallèle jusqu'à tours à la minute, le courant total et la tension restant respectivement à ımp. et à 500 volts. Le rendement industriel correspondant ne sera pas ndre que 0,82.

enroulement de l'induit sera calculé pour supporter normalement un cou- de 150 amp.; ce courant pourra être porté à 250 amp. pendant cinq utes sans que l'échauffement devienne dangereux pour la construction organes. Le rendement industriel, sous ce régime de 250 amp., ne devra être inférieur de plus de 5 p. 100 aux rendements imposés pour l'inten- totale de 150 amp.

ıe tolérance de 10 p. 100 est admise pour les vitesses correspondant à :itation shunt maximum. La vitesse maximum, obtenue par l'affaiblisse- t du champ magnétique, dans chacun des groupements, devra atteindre au ıs une fois et demie la vitesse à pleine excitation shunt dans le même ıpement. Aucune autre tolérance n'est admise quant à la vitesse.

:s moteurs seront bien identiques; leur excitation shunt sera obtenue par eul circuit; leur vitesse étant la même, un écart de 3 p. 100 au plus sera is entre la différence de potentiel à leurs bornes, lorsqu'ils fonctionnent ; le groupement en série.

ı démarrage, l'excitation compound étant maximum, le couple de chaque eur sera au moins de 300 kg. à 1 m. de l'axe.

: rendement industriel, c'est-à-dire le rapport de l'énergie utilisable récu- e aux essieux moteurs à l'énergie totale fournie aux bornes de la batterie, mesuré par les méthodes courantes. Il pourra être fait usage d'une méthode recte telle que la suivante.

: l'énergie totale on déduira :

L'énergie dissipée en chaleur dans les inducteurs et dans les induits;

L'énergie perdue par hystérésis, par courants de Foucault et par le frot- ent de l'arbre de l'induit.

énergie restante sera l'énergie utilisable. La formule à appliquer sera donc

$$\rho = \frac{E\,(i_a + i_d)\,t - i_a^2\,r_a\,t - i_d^2\,r_d\,t - a}{I\,(i_a + i_d)\,t},$$

ns laquelle :

est le rendement industriel;

est le courant traversant les induits;

est le courant traversant le circuit shunt des inducteurs;

la résistance du circuit des induits depuis les connexions aux appareils ommande;

la résistance du circuit shunt des inducteurs depuis les connexions aux ıes appareils;

la différence de potentiel mesurée aux appareils de commande;

e temps;

'énergie globalement perdue pendant le temps $t$ par hystérésis, courants oucault et frottements.



Les résistances d'induit et d'inducteur
passage pendant vingt minutes du c
ment. Exception est faite pour le cour
pendant cinq minutes après le régime p
Les pertes par hystérésis, par courants
en bloc par la méthode de
excités au taux voulu, les induits s
de 500 volts environ et à celle de 2
Les essais seront opérés dans les usir
l'État; la décision de la Commissi o
des organes à essayer, interv
de la demande d'essais que l
de la Commission de réception.
L'entrepreneur fournira gratuitement
nécessaires aux essais. L'État s
propres appareils de mesure.
Il est loisible aux soumissionnaires d
anneau, de fixer à leur convenance l
disposer les inducteurs en boîte close (w
découvre partiellement l'induit.
Pour la suspension des moteurs, ils s'
la voiture électrique de l'État belge,
à l'agrégation de l'administration.
attaches soient solides, qu'aucune
ne puisse descendre à moins d
en contact avec d'autres pièces de
des moteurs soit libre et que l
Pour deux équipements (deux lots),
moteur, cet arbre étant enfilé
élastiques. L'arbre creux aur
l'essieu ne soit jamais en contact a
Les deux autres équipements seront
directement sur l'essieu. On tolère
élastique.

CAB

Chacune des deux cabines d'une voit
Un interrupteur général bipolaire
Un ampèremètre bien apériodiq
de court-circuit;
Un voltmètre relié aux bornes d
d'un interrupteur, doit être co
Une clef de court-circuit avec a
dans chacun des circuits de l'e
Les appareils de commande.
Les appareils comportent :
Un changement de marche à qua

TRACTION ÉLECTRIQUE.

Digitized by Google

Les résistances d'induit et d'inducteur seront mesurées immédiatement après le passage pendant vingt minutes du courant qui doit les traverser normalement. Exception est faite pour le courant de 250 amp., qui ne sera lancé que pendant cinq minutes après le régime prolongé de 150 amp.

Les pertes par hystérésis, par courants de Foucault et par frottements seront évaluées en bloc par la méthode de Housman. A cet effet, les inducteurs étant excités au taux voulu, les induits seront soumis successivement à la tension de 500 volts environ et à celle de 250 volts environ.

Les essais seront opérés dans les usines du constructeur par des délégués de l'État; la décision de la Commission de réception, quant à la réception provisoire des organes à essayer, interviendra dans les quatre semaines de la réception de la demande d'essais que l'entrepreneur adressera à M. le président de la Commission de réception.

L'entrepreneur fournira gratuitement le courant, les appareils et la manutention nécessaires aux essais. L'État se réserve cependant le droit d'utiliser ses propres appareils de mesure.

Il est loisible aux soumissionnaires d'adopter l'induit en tambour ou celui en anneau, de fixer à leur convenance le nombre des pôles magnétiques et de disposer les inducteurs en boîte close (waterproof) ou de leur donner une forme qui découvre partiellement l'induit.

Pour la suspension des moteurs, ils s'inspireront de la disposition appliquée à la voiture électrique de l'État belge, mais tout autre système peut être soumis à l'agrégation de l'administration. Les seules conditions requises sont que les attaches soient solides, qu'aucune partie des moteurs ou de leurs accessoires ne puisse descendre à moins de 15 centimètres du plan des rails, ni venir en contact avec d'autres pièces de la voiture, en un mot que le fonctionnement des moteurs soit libre et que la sécurité soit garantie.

Pour deux équipements (deux lots), on fera usage d'un arbre creux pour chaque moteur, cet arbre étant enfilé sur l'essieu et relié aux roues par des attaches élastiques. L'arbre creux aura un diamètre intérieur suffisant pour que l'essieu ne soit jamais en contact avec lui.

Les deux autres équipements seront composés de moteurs dont l'induit sera calé directement sur l'essieu. On tolérera cependant l'usage d'intercalaires en matière élastique.

### CABINES

Chacune des deux cabines d'une voiture contiendra :

1° Un interrupteur général bipolaire en avant de l'appareil de commande;

2° Un ampèremètre bien apériodique inséré dans le circuit total avec la clef de court-circuit;

3° Un voltmètre relié aux bornes de la batterie; ce voltmètre, bien que pourvu d'un interrupteur, doit être construit pour rester en circuit;

4° Une clef de court-circuit avec attaches pour un ampèremètre Weston, insérée dans chacun des circuits de l'excitation et des induits;

5° Les appareils de commande.

Ces appareils comportent :

A) Un changement de marche à quatre positions, l'une coupant les circuits



Digitized by Google

d'induits, les deux voisines groupant les induits en série pour la marche en avant et pour la marche en arrière, la quatrième groupant les moteurs en parallèle pour la marche en avant, la cabine étant tournée vers l'avant. Les commutations de cet appareil devant se faire sans courant dans les induits, un enclenchement mécanique conjuguera le changement de marche avec le modérateur, pour réaliser cette condition.

B) Un modérateur dont l'office est complexe. Il doit établir graduellement le courant d'excitation, puis graduellement aussi le courant d'induit par la suppression successive de résistances sans self-induction et des enroulements en série des inducteurs, jusqu'à la mise en connexion directe des induits sur la batterie; enfin, il doit insérer progressivement la résistance dans le circuit d'excitation pour obtenir la vitesse maximum correspondant au groupement des induits réalisé.

La succession des contacts sera donc la suivante :

1° Touche isolée;

2° Touche fermant le circuit d'excitation sur une résistance d'environ 1000 ohms; cette touche est suivie d'autres graduant le courant d'excitation jusqu'à sa valeur maximum;

3° Touche de rupture du circuit d'induit. C'est la véritable touche de repos que doit occuper le contact glissant pour qu'on puisse manœuvrer le changement de marche. Un arrêt mobile doit empêcher que, dans la manœuvre de retour de la manette ou du levier, cette position soit dépassée involontairement;

4° Touche fermant le circuit des induits à travers les résistances inertes et les enroulements en série de l'excitation. Cette touche sera assez distante de la précédente; il est recommandé de l'en séparer par un souffleur magnétique ou un appareil en tenant lieu.

Le courant admis à la première touche ne dépassera pas 60 amp.

5° Une série de touches soustrayant les résistances inertes ou magnétisantes font suite à la précédente. Le nombre de ces touches et les résistances partielles doivent être calculés de façon que le courant puisse être maintenu entre sa valeur maximum et les 5/6 de cette valeur dans les commutations successives;

6° Une touche de mise en court-circuit des induits sur la batterie, le courant de l'excitation shunt étant toujours au maximum;

7° Une série de touches insérant progressivement des résistances dans le circuit du shunt. Les limites de variation du courant sont les mêmes que pour les touches 5.

Les appareils de commande doivent être très soigneusement isolés comme toutes les autres parties de l'équipement. Leur manœuvre doit se faire, le conducteur regardant en avant; de même l'ampèremètre sera disposé de telle façon que le conducteur puisse l'observer pendant les manœuvres ou la marche sans cesser d'être tourné vers l'avant.

Dans chaque cabine, les appareils de commande seront normalement immobilisés, le changement de marche et le modérateur chacun sur la touche de repos. Une clef unique permettra, par son introduction, de manœuvrer les appareils et cette clef ne pourra être retirée que lorsque les appareils seront ramenés à leur position de repos.

Digitized by Google

Le détail des appareils des cabines, tel qu'il est exposé, n'a rien d'absolu. Il est loisible au soumissionnaire de soumettre des modifications à l'administrations, à condition que ces variantes réalisent le but poursuivi.

### CABLAGE

Le câblage de la voiture fait partie de la fourniture. Il doit être réalisé au moyen de câbles d'un isolement de 500 mégohms au minimum.

Il part des caisses des batteries partielles (tiroirs), d'où les câbles sont dirigés vers un coupleur dont l'installation et la fourniture font partie du marché. Ce coupleur permet la charge des boîtes en parallèle et la décharge en tension.

De là les câbles de décharge sont envoyés aux cabines.

Le câblage des rhéostats d'induits et d'inducteurs, de même que ces rhéostats et toutes les autres parties de l'équipement électrique, hormis les accumulateurs, sont compris dans le marché.

### POIDS DES PIÈCES

Le soumissionnaire devra spécifier dans sa soumission le poids total maximum de toutes les pièces constituant son marché et le poids des moteurs considérés séparément

Le poids total maximum doit être aussi réduit que possible.

### MONTAGE

Les trains de roues décalés ou non décalés, au gré du fournisseur, seront envoyés franco de port à une station de l'État à désigner par celui-ci, dans les quinze jours de la demande.

Il en sera de même de la voiture dont le fournisseur pourra disposer en Belgique pendant les quatre semaines qui précéderont l'expiration du délai de fourniture. L'administration pourra autoriser le fournisseur à faire le montage de la voiture dans une dépendance du chemin de fer qu'elle jugera convenir.

L'entrepreneur restera responsable de tout dommage ou de toute dégradation survenue pendant le montage, soit à la voiture, soit aux accumulateurs, soit aux lieux mis à sa disposition.

Le recalage des essieux incombe au fournisseur.

L'administration pourra l'exécuter gratuitement dans ses ateliers de Malines, de Cuesmes ou de Luttre, en présence et sous la responsabilité du fournisseur. Les frais de port sont à charge de ce dernier.

La voiture appropriée doit être remise franche de port et de tous frais quelconques dans une station du chemin de fer de l'État belge, que le soumissionnaire indiquera dans sa soumission, d'où l'administration l'expédiera sans frais jusqu'au lieu de réception. L'envoi sera accompagné d'une facture en double expédition dressée dans la forme prescrite à l'article 9 du cahier des charges.

Digitized by Google

### DÉLAI DE FOURNITURE. — RÉCEPTION

Les pièces à soumettre aux essais prévus ou qui doivent permettre de les effectuer devront obligatoirement être sur chantier d'essai, aux usines de construction, dans le délai de sept mois à dater de l'avis d'approbation du marché. Ce délai est de rigueur.

En outre, un délai de quatre semaines est accordé pour le montage complet des organes dans la voiture : il court de l'instant de la remise de la voiture à la disposition du soumissionnaire.

La réception sera faite par une Commission d'ingénieurs qui emploiera tels moyens qu'elle jugera convenir pour s'assurer que la fourniture satisfait aux conditions requises.

Les ingénieurs et agents de l'administration, dûment commissionnés à cet effet, auront la faculté de s'assurer aux ateliers du constructeur et pendant toute la durée des travaux si les conditions spécifiées au présent contrat sont exactement suivies.

### RETARDS DANS LES FOURNITURES

Les dispositions de l'article 11 du cahier des charges général s'appliquent aussi bien aux retards que subirait le montage du fait de l'entrepreneur que des retards dans la fabrication des pièces constitutives. Toutefois, l'ensemble des amendes ne pourra être supérieur à 10 p. 100 du prix de la soumission.

### CAUTIONNEMENT

Le cautionnement est fixé à 10 p. 100 du montant total du marché.

La reconnaissance de dépôt doit être annexée à la soumission.

Le taux des fonds admis à titre de cautionnement est fixé ainsi qu'il suit :

Le 3 p. 100 de l'État ainsi que les bons du Trésor, au pair ;

Le 2 1/2 p. 100 de l'État à raison de 90 p. 100.

Le 3 p. 100 de la Caisse d'Annuités, le 3 p. 100 de la Société du Crédit communal et le 3 p. 100 de la Société nationale des Chemins de fer vicinaux, à raison de 95 p. 100.

Le 4 1/2 p. 100 et le 4 p. 100 de la Caisse d'Annuités, ainsi que le 4 1/2 et le 4 p. 100 de la Société du Crédit communal, au pair.

### RÉCEPTION

L'enlèvement des objets rebutés pourra avoir lieu tous les jours non fériés, les jours de réception exceptés.

Le délai accordé pour l'enlèvement des rebuts est de deux semaines.

Il est infligé une pénalité de 5 francs par semaine de retard au delà de la date déclarée de rigueur. Les fractions de semaine sont négligées dans le calcul des amendes.

Digitized by Google

### DÉLAI DE GARANTIE

Le soumissionnaire reste responsable pendant un délai de deux (2) ans à dater de la réception définitive de tout défaut qui se manifesterait pendant cette période aux moteurs et accessoires dans les conditions ordinaires du travail et provenant soit de la qualité des matériaux employés, soit d'un vice de construction.

Le remplacement des pièces jugées défectueuses devra être effectué par le fournisseur dans un délai à déterminer, le cas échéant, par la Commission de réception. En garantie de ses engagements, le cautionnement versé par le soumissionnaire sera conservé jusqu'à l'expiration du délai de garantie et, le cas échéant, jusqu'à ce que les remplacements ou réparations jugés nécessaires aient été effectués.

### PAIEMENTS

Le paiement aura lieu en deux fois : 7/10 dans les trente jours de la réception provisoire ; 3/10 dans les trente jours de la réception définitive qui aura lieu après essais effectués sur lignes.

La réception définitive aura lieu au plus tard dans les trois mois de l'arrivée de la voiture au lieu de réception.

---

Digitized by Google

## ANNEXE N° 10

GENERAL ELECTRIC COMPANY

INSTRUCTIONS SUR L'INSTALLATION ET LA MANŒUVRE

DES

# ÉQUIPEMENTS DE VOITURES DE TRAMWAYS ÉLECTRIQUES

### INSTALLATION DES APPAREILS

*Généralités.* — Dans l'installation des différentes parties de l'équipement électrique et la mise en place des circuits d'une voiture, les points principaux qu'on doit avoir en vue sont les suivants :

1° Réaliser un bon isolement ;

2° Exclure des appareils électriques toute matière étrangère, particulièrement la graisse, la boue et l'eau ;

3° Éviter les incendies qui pourraient être causés par les arcs électriques se formant dans les fusibles, parafoudres, etc. ;

4° Mettre les appareils à l'abri des avaries mécaniques ;

5° En rendre la manœuvre et l'inspection commodes, sans toutefois les placer à portée des voyageurs.

*Préparation de la caisse.* — Le plancher doit être pourvu de trappes de dimensions suffisantes pour donner un accès facile aux moteurs. On fera bien d'examiner l'opportunité de rendre amovible la traverse du châssis placée entre les deux trappes de façon à pouvoir renverser le couvercle des moteurs en arrière.

Le support de trôlet surmontant le toit sera disposé de manière à le renforcer et à le protéger en cas de déraillement du trôlet ; il doit également servir à amortir le bruit. On réservera au plafond la place des lampes. Des rainures pour les fils seront ménagées dans les moulures du plafond, ainsi que dans deux des poteaux d'angles, l'une pour le fil venant du trôlet, l'autre pour le fil de terre du circuit d'éclairage.

Dans les voitures fermées, on percera dans le plancher, sous les banquettes, 4 trous de 51 mm. de diamètre aussi rapprochés que possible des 4 angles.

On percera en outre sur un côté de la voiture une rangée de 4 trous de 16 mm. de diamètre à 102 mm. d'intervalle, pour faire passer les branchements reliant le câble principal aux bornes du moteur n° 1 ; la position exacte de ces trous dépendra du type de moteur employé : avec les moteurs G. E. la

Digitized by Google

distance du centre de l'essieu au milieu de cette rangée de trous doit être d'environ 0,75 m. Du même côté de la voiture et en ligne avec les 4 premiers trous, on en percera 4 autres de 16 mm. à 102 mm. d'intervalle, pour faire passer les branchements allant du câble principal aux boîtes de résistance. Sur l'autre côté de la voiture, on percera de même une première rangée de 3 trous de 16 mm. à 102 mm. d'intervalle, pour faire passer les branchements allant du câble aux bornes du moteur n° 2, et sur la même ligne 5 autres trous de 16 mm. à 102 mm. d'intervalle, pour faire passer les branchements du trôlet, de la résistance et du shunt du moteur n° 2.

On devra d'ailleurs se référer au diagramme de montage[1] pour placer chaque série de trous du côté convenable de la voiture et à une distance suffisante des brancards pour que les fils ne puissent être touchés par les roues.

Il y aura lieu enfin de percer dans le plancher de chaque plate-forme, à 1,00 m. environ de l'arbre de commande du frein et à une distance convenable de la balustrade, un trou ovale de 127 × 70 mm. pour le passage des câbles principaux.

Dans les voitures ouvertes, ces derniers trous sont les seuls qui soient à percer dans le plancher.

*Installation des régulateurs.* — Dans l'équipement normal, il doit y avoir un régulateur sur chaque plate-forme, du côté opposé à l'arbre de commande du frein et à une distance telle que l'intervalle entre cet arbre et celui du régulateur ne soit pas inférieur à 0,90 m., ni supérieur à 1,00 m. La position exacte du régulateur dépendra de celle des longerons supportant la plate-forme. La base du régulateur est établie de manière à lui permettre de prendre un léger jeu pour suivre le balancement de la balustrade. Deux boulons de 13 mm. servent à la fixer à la plate-forme. L'assemblage du régulateur avec la main courante surmontant la balustrade s'opère au moyen d'une équerre ajustable. L'entrée des câbles dans le régulateur se fait à travers un manchon de protection qui se fixe à la plate-forme avec interposition d'une rondelle en caoutchouc pour empêcher le passage de l'eau.

*Installation des circuits.* — Les *circuits du plafond* comprennent le circuit principal, qui se rend du trôlet, à travers les 2 interrupteurs principaux, un parafoudre et un fusible, aux poteaux d'angle, et le circuit d'éclairage, dont une extrémité doit communiquer avec la terre. Quand les fils sont placés sur le toit, ils n'ont pas besoin d'être recouverts de toile ni d'une moulure, sauf aux endroits où ils traversent le toit, pour empêcher l'eau de passer; en ces points, on place sous le fil une bande de toile apprêtée à la céruse de la largeur de la moulure et sur le fil un bout de moulure s'étendant suffisamment loin de chaque côté pour empêcher l'eau de passer, qu'on visse en place et qu'on peint ensuite.

Ces circuits doivent autant que possible être posés pendant le montage de la caisse.

Les *circuits du plancher* peuvent être posés après l'achèvement de la voiture.

Les *câbles préparés d'avance* assurent une meilleure protection des circuits et

[1] Les figures 359, 647, 608, etc. donnent des exemples de diagrammes de montage.

Digitized by Google

sont plus aisés à installer que les fils séparés ; on doit autant que possible en faire usage pour les circuits du plancher.

La façon la plus simple d'installer ces câbles sur les voitures fermées est la suivante :

Une fois la caisse préparée comme il vient d'être dit, les câbles (un de chaque côté) sont tirés à travers les trous de plate-forme et connectés avec les moteurs et régulateurs conformément au diagramme de montage.

Après avoir fait les connexions avec les régulateurs, on tire tout ce qui reste de mou dans les câbles sous les banquettes et on les y maintient en place, de préférence contre les parois de la caisse, par des brides en toile ou en cuir. Les branchements allant vers les moteurs ne doivent faire à travers le plancher que juste assez de saillie pour permettre une liaison facile avec les fils flexibles des moteurs, de façon à diminuer les chances de vibration. Ces branchements n'ont pas besoin d'être entourés d'un tube de caoutchouc, car ils sont tous recouverts d'une enveloppe imperméable en coton tressé triple par-dessus l'isolement en caoutchouc pour en empêcher la détérioration. Tous les joints doivent être parfaitement soudés et recouverts. Les portions de câble passant sous les plates-formes doivent être supportées par des brides en cuir fixées par des vis sous le plancher. Les câbles ne doivent jamais être ployées à angle droit. Il est recommandé de faire passer le fil de terre sous le plancher de la voiture plutôt que sous les banquettes.

Sur les voitures ouvertes, tous les câbles et fils doivent passer sous le plancher et être solidement maintenus en place par des taquets ou des brides.

On réalise un bon joint en séparant en deux faisceaux les brins du câble de branchement et enroulant ceux-ci en sens contraire autour du câble principal. Puis on recouvre de tresse à l'okonite et de tresse caoutchoutée ; il est préférable d'employer la première d'abord et de mettre la tresse caoutchoutée par-dessus, parce qu'elle ne se desserre pas et ne se déroule pas comme l'autre. Toutes les ouvertures pratiquées dans le boyau qui sert d'enveloppe au câble doivent être ensuite recousues aussi serré que possible.

On peut, si c'est nécessaire, employer des *fils séparés*, moyennant les précautions suivantes : dans les voitures fermées, les fils du plancher devront autant que possible être placés sous les banquettes ; pour la protection des fils transversaux, on devra faire usage de moulures en bois de préférence à des tubes en caoutchouc ou à des attaches à l'air libre ; les tubes de protection en caoutchouc ne sont pas nécessaires non plus pour les fils passant sous le plancher (par exemple dans les voitures ouvertes), pourvu qu'ils ne touchent pas des parties métalliques de la voiture et qu'ils ne soient pas exposés à la boue ni à l'eau ; partout où les fils sont ainsi exposés, il faut les recouvrir d'une moulure, qu'on devra peindre soigneusement à l'intérieur et à l'extérieur avec une composition isolante et hydrofuge ; lorsqu'on installe les fils sur la voiture, il faut éviter avec soin de toucher les parties métalliques ou d'endommager l'isolant avec des clous ou des vis.

D'une manière générale, l'emploi de crampons ou de taquets métalliques n'est pas à recommander pour la fixation en place des conducteurs, sauf sur le toit et à l'intérieur de la voiture. Lorsque les fils sont exposés aux vibrations, comme ceux qui vont de la caisse aux moteurs, il faut toujours employer des câbles flexibles. Il est nécessaire de laisser un certain mou dans les conduc-

Digitized by Google

teurs reliant les moteurs à la caisse, plus ou moins suivant leur longueur ; il en faut davantage sur les voitures à bogies que sur les autres. Comme ce mou augmente les chances de détérioration, il faut avoir soin de le réduire au minimum strictement indispensable.

*Circuit d'éclairage.* — Le diagramme de montage indique la disposition du circuit d'éclairage.

### MANŒUVRE ET ENTRETIEN DU RÉGULATEUR K2

Au démarrage, régler le mouvement de la manette d'un cran à l'autre de façon à obtenir une accélération graduelle de la vitesse.

Ne jamais laisser la manette dans l'intervalle de deux crans.

Les crans 1, 2, 3, 6 et 7 ne sont destinés qu'à donner une accélération progressive et on ne doit y laisser la manette que pendant un temps très court.

Pour la marche normale, se servir des crans 4, 5, 8 et 9, qui sont indiqués sur le cadran par les traits les plus longs.

Lorsqu'on manœuvre les interrupteurs des moteurs, avoir soin de bien pousser la manette à fond de course.

Dans le cas où le trôlet a déraillé et où les freins ne suffisent pas à arrêter la voiture, on peut faire un arrêt d'urgence en renversant le courant dans les moteurs et amenant la manette du régulateur sur le cran de pleine vitesse ou le cran voisin.

Pour inspecter le régulateur, ce qui doit être fait à intervalles réguliers, ouvrir le couvercle, défaire l'écrou avec la clef y attachée et ramener en arrière la pièce polaire de l'électro-aimant.

Les bagues et les frotteurs doivent être maintenus bien lisses. On peut les enduire de temps en temps d'un peu de vaseline pour les empêcher de gripper.

Tous les paliers doivent être huilés régulièrement.

On préservera efficacement l'appareil de l'humidité en plaçant dans les chapeaux de l'arbre commutateur et de l'arbre inverseur un mélange par parties égales en poids de paraffine, de colophane et de vaseline.

Éviter les amas de poussière à l'intérieur du régulateur.

### ÉTAT DES OBJETS COMPOSANT L'ÉQUIPEMENT ÉLECTRIQUE D'UNE VOITURE MUNIE DE 2 MOTEURS G. E. 800 OU 1200 ET DE 2 RÉGULATEURS K2

| Quantités. | Objets. | Prix du catalogue. |
|---|---|---|
| 1 | mât de trôlet, type C | 42,50 fr. |
| 1 | base de trôlet, type D2 | 75 » — |
| 2 | interrupteurs principaux | 65 » — |
| 1 | parafoudre, type M, classe C, à résistance non inductrice | 150 » — |
| 1 | coupe-circuit magnétique de 150 ampères (fusible) | 32,50 — |
| 1 | boîte de résistances, type K | 125 » — |
| 1 | boîte de résistances, type K2 (y compris shunt d'induction) | 125 » — |
| 1 | noyau de bobine de self-induction | 2 » — |

Digitized by Google

| Quantités. | Objets. | Prix du catalogue. |
|---|---|---|
| 2 | régulateurs série-parallèle, type K2 (y compris manchon de protection des fils, équerre d'attache, écrous et rondelles pour la fixation à la balustrade) | 900 » fr. |
| 1 | manette de régulateur | 12,50 — |
| 1 | levier d'inversion | 7,50 — |
| 23 | m. de câble n° 6 B. et S. (7 fils de 1.6 mm.) pour circuits de plafond | |
| 20 | plombs fusibles de 100 ou 150 ampères | 6 » — |
| 10 | connecteurs à 2 directions, avec trous de 6 mm., n° 6. | 2,50 — |
| 30 | taquets d'angle en laiton, avec rainure de 11 mm. | 1,12 — |
| 24 | — plats — — | 1 » — |
| 110 | vis à bois en laiton de 13 mm. n° 4 R. H. pour taquets en laiton | |
| 25 | taquets en bois avec rainure de 13 mm. | 0,44 — |
| 25 | — — 9,5 mm. | 0,44 — |
| 100 | vis à bois bleutées de 31 mm. n° 8 R. H. pour taquets en bois | |
| 450 | gr. de soudure | |
| 450 | gr. de tresse à l'okonite de 19 mm. | |
| 450 | gr. de tresse adhérente de 25 mm. | |
| 146 | m. de câble n° 6 B. et S. (7 fils de 1.6 mm.) à simple guipage | |
| 30 | m. de câble n° 6 B. et S. (7 fils de 1,6 mm.) à triple guipage pour branchements | |
| 41 | marques en laiton | 0,82 — |
| 19,50 | m. de tuyau en coton de 38 mm. | 38,40 — |
| 680 | gr. de tresse caoutchoutée | 8,10 — |
| 1800 | gr. de tresse paragon imperméable adhérente | 11 » — |
| 680 | gr. de soudure pour câbles | |
| 1 | installation d'éclairage (voir p. 731) | |

*N. B.* — Pour les moteurs G. E. 1 200 avec induit à 2 spires, les câbles et fils de plafond doivent être du n° 4 B. et S.; les taquets en bois doivent avoir une rainure de 11 mm. et 14 mm. respectivement.

ÉTAT DES OBJETS COMPOSANT L'ÉQUIPEMENT ÉLECTRIQUE D'UNE VOITURE MUNIE D'UN MOTEUR G. E. 800, 1 200 OU 2 000 ET DE 2 RÉGULATEURS KR.

| Quantités. | Objets. | Prix du catalogue. |
|---|---|---|
| 1 | mât de trôlet, type C | 42,50 fr. |
| 1 | base de trôlet, type D2 | 75 » — |
| 2 | interrupteurs principaux | 65 » — |
| 1 | parafoudre type M, classe C | 150 » — |
| 1 | coupe-circuit magnétique de 150 ampères (fusibles) | 32,50 — |
| 1 | boîte de résistances, type G | 125 » — |
| 1 | boîte de résistances, type H (y compris shunt d'induction) | 150 » — |

Digitized by Google

| Quantités. | Objets. | Prix du catalogue. |
|---|---|---|
| 1 | noyau de bobine de self-induction . . . . . | 2 » fr. |
| 2 | régulateurs, type KR (y compris manchon de protection des fils, équerre d'attache, écrous et rondelles pour la fixation à la balustrade) . . . . . | 600 » — |
| 1 | manette de régulateur. . . . . | 12,50 — |
| 1 | levier d'inversion . . . . . | 7,50 — |
| 23 | m. de câble n° 6 B. et S. (7 fils de 1,6 mm.) pour circuits de plafond. . . . . | |
| 20 | plombs fusibles de 100 ou 150 ampères. . . . . | 6 » — |
| 5 | connecteurs à 2 directions, avec trous de 6 mm., n° 6. | 1,25 — |
| 30 | taquets d'angle en laiton, avec rainure de 11 mm. . . | 1,12 — |
| 25 | — plats — — . . . | 1 » — |
| 110 | vis à bois en laiton de 13 mm. n° 4 R.H. pour taquets en laiton . . . . . | |
| 25 | taquets en bois avec rainure de 13 mm. . . . . | 0,44 — |
| 25 | — — 9,5 mm. . . . . | 0,44 — |
| 100 | vis à bois bleutées de 31 mm. n° 8 R.H. pour taquets en bois. . . . . | |
| 450 | gr. de soudure . . . . . | |
| 450 | gr. de tresse à l'okonite de 19 mm. . . . . | |
| 450 | gr. de tresse adhérente de 25 mm. . . . . | |
| 122 | m. de câble n° 6 B. et S. (7 fils de 1,6 mm.) à simple guipage. . . . . | |
| 21 | m. de câble n° 6 B. et S. (7 fils de 1,6 mm.) à triple guipage pour branchements . . . . . | |
| 22 | marques en laiton. . . . . | 0,44 — |
| 9,75 | m. de tuyau en coton de 38 mm. . . . . | 19,20 — |
| 450 | gr. de tresse caoutchoutée . . . . . | 5,40 — |
| 1 400 | gr. de tresse paragon . . . . . | 8,25 — |
| 225 | gr. de soudure pour câbles. . . . . | |
| 1 | installation d'éclairage (voir ci-dessous) . . . . . | |

*N. B.* — Pour les moteurs G. E. 2 000, les câbles et fils de plafond doivent être du n° 4 B. et S., les taquets en bois doivent avoir une rainure de 11 et 14 mm. respectivement, et, au lieu des résistances types G et H, on emploie les résistances types L et M.

### ÉTAT DES OBJETS COMPOSANT L'INSTALLATION D'ÉCLAIRAGE D'UNE VOITURE (5 OU 10 LAMPES)

*Installation de* 5 *lampes :*

| Quantités. | Objets. | Prix du catalogue. |
|---|---|---|
| 1 | commutateur et interrupteur combinés. . . . . | 5 » fr. |
| 1 | support à réflecteur pour 3 lampes . . . . . | 12,50 — |
| 3 | douilles simples. . . . . | 5,25 — |
| 2 | douilles appliques. . . . . | 3 » — |
| 5 | lampes à filament ancré. . . . . | 12,50 — |

Digitized by Google

| Quantités. | Objets. | Prix du catalogue. |
|---|---|---|
| 0,60 m. | de fil fusible de 3 ampères. . . . . | |
| 0,90 m. | de fil n° 16 G.E . . . . . | |
| 15,24 m. | de fil n° 16 U.S. . . . . | |
| 50 | taquets en laiton pour fil n° 16 U.S. . . . . | 1,63 fr. |
| 100 | vis à bois en laiton de 13 mm. n° 4 R.H. pour taquets en laiton. . . . . | |
| 4 | vis à bois en laiton de 22 mm. n° 8 R.H. pour support à 3 lampes. . . . . | |
| 4 | vis à bois en laiton de 32 mm. n° 6 R.H. pour douilles appliques. . . . . | |
| 2 | vis à bois en laiton de 32 mm. n° 6 R.H. pour commutateur et interrupteur combinés. . . . . | |
| 1 | vis à bois en laiton de 38 mm. n° 6 R.H. pour commutateur et interrupteur combinés. . . . . | |

*Installation de* 10 *lampes :*

| | | |
|---|---|---|
| 1 | commutateur et interrupteur combinés . . . . . | 5 » — |
| 3 | supports à réflecteur pour 3 lampes. . . . . | 37,50 — |
| 9 | douilles simples. . . . . | 15,75 — |
| 2 | douilles appliques. . . . . | 3 » — |
| 1 | commutateur à 3 directions . . . . . | 4,50 — |
| 11 | lampes à filament ancré. . . . . | 27,50 — |
| 1,60 m. | de fil fusible de 6 ampères. . . . . | |
| 2,75 m. | de fil n° 16 G.E . . . . . | |
| 30,50 m. | de fil n° 16 U.S. . . . . | |
| 70 | taquets en laiton pour fil n° 16 U.S. . . . . | 2,27 — |
| 140 | vis à bois en laiton de 13 mm. n° 4 R.H. pour taquets en laiton. . . . . | |
| 4 | vis à bois en laiton de 32 mm. n° 6 R.H. pour douilles appliques. . . . . | |
| 12 | vis à bois en laiton de 22 mm. n° 8 R.H. pour supports à 3 lampes . . . . . | |
| 2 | vis à bois en laiton de 32 mm. n° 6 R.H. pour commutateur et interrupteur combinés . . . . . | |
| 1 | vis à bois en laiton de 38 mm. n° 6 R.H. pour commutateur et interrupteur combinés . . . . . | |
| 2 | vis à bois en laiton de 25 mm. n° 6 R.H. pour commutateur à 3 directions . . . . . | |

Digitized by Google

## ANNEXE N° 11

### TRAMWAY ÉLECTRIQUE DE ZURICH [1]

# RÈGLEMENT SPÉCIAL DES MÉCANICIENS

## I. — Ligne

1. — Pour permettre de localiser les perturbations éventuelles sur la ligne, le fil de contact est divisé en 4 sections, dont chacune est alimentée séparément par l'usine génératrice, savoir :

Section 1, de l'usine à la Kreuzplatz, alimentée à l'usine ;
— 2, de la Kreuzplatz à Bellevue, alimentée à la Freienplatz ;
— 3, de Bellevue à la Freienplatz, alimentée à la Freienplatz ;
— 4, de la Freienplatz à la Kreuzplatz alimentée à la Kreuzplatz.

2. — Sur l'artère d'alimentation de chacune de ces 4 sections est intercalé à l'usine un disjoncteur automatique, qui coupe le circuit dès que l'intensité du courant dépasse une limite déterminée.

3. — La marche du courant est la suivante : partant de l'usine il est amené par les câbles d'alimentation aux différentes sections du fil de contact, d'où il passe dans l'appareil de prise de courant placé sur le toit des voitures (trôlet) ; de là il se rend, à travers un parafoudre et un fusible double, dans l'un des deux interrupteurs de sûreté placés sur les plates-formes, suivant le sens de la marche, et dans le régulateur correspondant ; il traverse ensuite le moteur et ses résistances, pour arriver aux roues et aux rails par lesquels il revient à l'usine.

4. — Si le circuit vient à être coupé en un point quelconque, le courant se trouve aussitôt interrompu. Cet accident peut être produit par l'une des causes suivantes :

*a*) Rupture du fil de contact ;
*b*) Déraillement du trôlet ;
*c*) Fusion d'un plomb fusible ou mauvaise position de la clef du commutateur ;
*d*) Défaut de serrage des vis de connexion des câbles conducteurs avec le régulateur ou le moteur ;
*e*) Présence sur les rails de boue ou de saleté empêchant le contact avec les roues ; on en est averti par la production d'étincelles abondantes sous celles-ci ;

[1] Équipé par les Ateliers d'Oerlikon.

Digitized by Google

*f*) Passage du trôlet sous un isolateur de section ; pour éviter la formation d'étincelles nuisibles aussi bien pour le trôlet que pour les isolateurs, le mécanicien doit toujours couper un instant le courant en ces points.

## II. — Équipement des voitures

1. — Chaque voiture est équipée avec les appareils électriques suivants :
1 moteur électrique d'environ 18 chev. effectifs sous 500 volts ;
2 régulateurs munis de leur manette ;
1 boîte de résistances ;
1 appareil de prise de courant (trôlet) ;
1 parafoudre ;
1 fusible double avec commutateur ;
2 interrupteurs de sûreté avec poignée commune ;
1 installation d'éclairage électrique avec commutateur et fusible ;

2. — Les autres parties importantes de l'équipement sont :
Les deux freins ;
Les boîtes à sable ;
Les timbres avertisseurs ;
Les feux de signal verts et rouges ;
Les tampons de choc et appareils d'attelage.

3. — Pour la sécurité comme pour l'économie de l'exploitation, il est indispensable que le mécanicien apporte le plus grand soin au maniement de tous ces appareils. Il doit notamment veiller :

*a*) A ce que les quatre boîtes à graisse de la voiture soient toujours suffisamment garnies d'huile et les paliers de moteurs de graisse consistante, et à ce que les coussinets ne s'échauffent pas ;
*b*) A ce que l'intérieur du moteur reste toujours propre, afin d'éviter des courts-circuits ;
*c*) A ne pas laisser les balais s'user jusqu'au bout ;
*d*) A ce que tous les écrous et vis des moteurs et autres organes soient toujours bien serrés ;
*e*) A ce que les boîtes à sables et les freins fonctionnent bien ;
*f*) A ce que le commutateur du fusible, l'interrupteur de sûreté et le régulateur soient en bon état ;
*g*) A ce que les lampes brûlent bien ;
*h*) A ce que la manette du régulateur soit bien placée et se manœuvre facilement ; il est bon de la graisser de temps en temps sur sa face interne ;
*i*) A ce que tout l'équipement soit bien propre.

4. — Le régulateur a 6 positions pour la marche en avant et 4 pour la marche en arrière. Dans la position 1, toutes les résistances sont en circuit ; dans la position 5, elles sont toutes hors circuit, et dans la position 6, qui est la même que la position 7, les enroulements inducteurs sont shuntés.

5. — Des 4 positions de marche en arrière, la première *seule* peut être uti-

Digitized by Google

lisée pour le freinage ; mais on ne doit y recourir qu'en cas de danger, et encore quand la vitesse de la voiture n'est pas très grande, ou en cas de défaut absolu de fonctionnement du frein mécanique.

6. — Le passage de la position 1 aux suivantes doit se faire lentement et avec de légers arrêts, afin de laisser au moteur le temps de prendre la vitesse correspondante à chaque position.

7. — Il ne faut s'arrêter qu'un instant sur la position 5 et passer de suite à la position 6.

## III. — Outillage spécial

1. — Chaque voiture est munie d'une boite contenant les objets suivants :

1 tournevis, 1 clef anglaise, 1 pince à fil, 1 barre à faire les aiguilles, 3 plombs fusibles, 1 paire de balais en charbon, 1 lampe à incandescence de rechange, des chiffons pour le nettoyage, du fil de cuivre.

2. — Cet outillage doit permettre au conducteur de faire lui-même pendant le trajet les menues réparations qui peuvent être nécessaires. Il doit par suite vérifier chaque matin si l'assortiment de sa voiture est au complet et le faire compléter au besoin.

## IV. — Marche des voitures

### *Avant le départ.*

1. — Le mécanicien doit se trouver à la remise au moins 15 minutes avant le premier départ et visiter à fond sa voiture et son équipement, afin de signaler les défauts qui peuvent s'y trouver et d'y faire remédier si possible.

2. — Avant le départ, il doit, l'interrupteur de sûreté étant ouvert, s'assurer que le régulateur n'accroche nulle part et se manœuvre facilement, que la manivelle du frein est bien placée pour produire le maximum d'effort, que la clef du commutateur du fusible est tournée vers le bas, que le régulateur d'arrière est à l'arrêt et que tous les paliers sont bien garnis d'huile ou de graisse consistante. Il doit aussi vérifier l'état du signal avertisseur, des lampes et des boites à sables.

### *Mise en marche.*

1. — Le signal du départ, qui est donné par le conducteur, consiste en *un* coup de timbre. Le mécanicien ne doit jamais partir avant d'avoir reçu ce signal. Par contre, il peut s'arrêter de lui-même pour prendre des voyageurs ou lorsque la voie est encombrée.

2. — Le mécanicien doit toujours faire fonctionner le signal avertisseur avant de mettre la voiture en marche.

3. — Pour démarrer sur les *pentes*, il suffit souvent de desserrer lentement les freins ; on peut, au besoin, amener vivement la manette à la position 1 et la remettre ensuite à zéro.

En *palier*, on réalise un bon démarrage doux en mettant la manette sur

Digitized by Google

le cran 1 jusqu'à ce que la voiture se soit mise en mouvement et la tournant ensuite lentement en avant.

En *rampe*, après avoir relevé le cliquet du frein, on amène la manette sur le cran 1 et on desserre vivement le frein.

Les prescriptions 4 à 7 du § II s'appliquent d'ailleurs à tous les cas.

4. — Lorsque plusieurs voitures se trouvent réunies, elles ne doivent pas démarrer en même temps, mais l'une après l'autre; dans ce cas, la voiture venant du Burgwies doit toujours passer la première.

5. — Il est défendu d'arrêter dans la portion supérieure de la Klosbachstrasse, sur toute la zone pavée [1]. Si, pour une raison majeure, on était obligé de le faire, il faudrait prendre les plus grandes précautions pour démarrer ensuite, répandre du sable sur la voie et n'augmenter que très graduellement la vitesse.

6. — Lorsque les roues se mettent à patiner, on doit ramener la manette en arrière de façon à réduire la vitesse et ne l'avancer de nouveau que quand le patinage a cessé.

*Arrêts.*

1. — Le signal d'arrêt donné par le conducteur consiste en *deux* coups de timbre à très bref intervalle.

2. — Pour arrêter, on ramène vivement la manette au zéro et, immédiatement après, on serre le frein (ne jamais serrer le frein avant d'avoir mis le régulateur au repos).

3. — Le mécanicien doit faire attention, dans cette manœuvre, à ne pas dépasser le cran d'arrêt.

4. — Si pour une raison quelconque la manette ne pouvait être ramenée au zéro, on ouvrirait l'interrupteur de sûreté; en cas de non-fonctionnement de ce dernier, il reste la ressource d'abaisser le trôlet.

*Pendant la marche.*

1. — Pendant la marche, le mécanicien doit tenir constamment en mains la manette du régulateur et la manivelle du frein.

2. — Dès qu'il approche d'un croisement de rues, il doit faire tinter continuellement le timbre avertisseur et se rendre maître de sa voiture de façon à pouvoir l'arrêter au besoin dans l'espace de quelques mètres. Les points particulièrement dangereux sont les suivants :

Croisements de la Forchstrasse avec la Freiestrasse et l'Eidmattstrasse : croisements de la Tonhallestrasse avec la Gottfr. Kellerstrasse et la Rämistrasse : croisement de la Rämistrasse avec le Zeltweg; croisement de la Hottingerstrasse avec la Gemeindestrasse; croisement de la Klosbachstrasse avec la Freiestrasse.

3. — Le passage des courbes et des aiguilles doit s'effectuer à vitesse aussi

[1] Où la déclivité dépasse 6 p. 100.

Digitized by Google

réduite que possible et l'on ne doit augmenter l'allure qu'une fois que les quatre roues du véhicule ont dépassé l'obstacle. Il est défendu d'arrêter dans les courbes.

4. — Il est absolument interdit d'enlever pendant la marche la manivelle du frein ou la manette du régulateur pour la replacer dans une autre position. Si le mécanicien s'aperçoit que sa manivelle est mal placée, il doit arrêter la voiture et mettre le cliquet du frein en prise avant de replacer la manivelle.

5. — Le mécanicien doit s'assurer de temps en temps que la manette du régulateur, la manivelle du frein et la poignée de l'interrupteur de sûreté sont solidement fixées en position.

6. — Dès qu'il s'aperçoit que le trôlet a déraillé, il doit, en général sans s'arrêter, interrompre le courant et ne le rétablir que lorsque le conducteur lui a donné le signal du départ.

7. — La descente des pentes, notamment dans Korchstrasse, Azylstrasse, Klosbachstrasse, Hottingerstrasse, Rämistrasse et Kreuzbühlstrasse, doit autant que possible se faire sans courant. On ne doit user du courant que pour les démarrages. Sur les pentes, il est absolument défendu de jouer avec le frein : le mécanicien doit tenir la manivelle dans sa main d'une façon ferme et augmenter ou diminuer suivant les besoins, mais sans à-coup, l'effort exercé.

8. — Il faut veiller avec grand soin à ce que, dans chacune de ses positions, la manette du régulateur se trouve bien en face du repère correspondant; il faut éviter notamment de laisser la manette entre le cran 1 et le cran d'arrêt.

9. — Par les temps d'orage, on laissera les lampes en circuit toute la journée.

10. — Il est absolument défendu, sauf dans le cas prévu au § IV (*Arrêts*, 4), d'abaisser le trôlet tant que le circuit n'est pas coupé.

11. — Pendant la marche, le trôlet doit toujours être incliné vers l'arrière. Il ne peut être fait exception à cette règle que lorsqu'il s'agit de reculer seulement de quelques mètres, et encore faut-il alors marcher très doucement. Au passage des aiguilles, on doit toujours, même dans ce dernier cas, retourner le trôlet. Toute infraction à cette règle sera punie d'une amende de 1 fr., aussi bien pour le mécanicien que pour le conducteur.

*Changement de marche.*

1. — Le sens de la marche change à chaque voyage au Burgwies, à la Kreuzplatz (pour les voitures venant de la Klosbachstrasse) et à Bellevue ; le mécanicien doit en même temps changer de plate-forme.

2. — Les diverses opérations que comporte le changement du sens de la marche doivent s'effectuer dans l'ordre ci-après :

*a*) Ouvrir l'interrupteur de sûreté ;

*b*) Mettre le régulateur à l'arrêt et enlever la manette ;

*c*) Enlever la pédale de commande du timbre avertisseur.



Digitized by Google

En prenant place sur l'autre plate-forme, le mécanicien doit effectuer la même série d'opérations, mais dans l'ordre inverse, et avec cette différence qu'avant de fermer l'interrupteur de sûreté il s'assurera que la manivelle du frein et la manette du régulateur fonctionnent bien.

Toutes les fois que le mécanicien enlèvera la manette du régulateur avant d'avoir mis celui-ci à l'arrêt, il sera puni d'une amende de 1 fr.

3. — Le retournement du trôlet est effectué par le conducteur, à qui incombe également le soin d'allumer les lampes et de changer les feux de côté.

*Dérangements.*

1. — Si le courant vient à manquer, il faut d'abord rechercher s'il existe un des défauts mentionnés au § I, 4. Il peut aussi arriver que l'interrupteur automatique se soit simplement ouvert (lorsque, par exemple, on marche avec le frein serré) ; dans ce dernier cas ou si l'équipement est en bon état, il n'y a qu'à fermer le circuit des lampes et attendre tranquillement le retour du courant, qui sera indiqué par l'allumage des lampes.

2. — Lorsqu'une voiture est complètement désemparée, il faut prévenir de suite téléphoniquement l'usine et faire pousser la voiture avariée par celle qui la suit immédiatement jusqu'à l'un des points suivants, où elle sera prise par une voiture de secours dépêchée spécialement de l'usine :

| | |
|---|---|
| Les voitures désemparées entre : | seront remisées : |
| l'usine et Wildenmann, | à l'usine. |
| Wildenmann et Kreuzplatz et Römerhof, | à la Kreuzplatz. |
| Kreuzplatz-Bellevue et Römerhof, | au terminus de Bellevue. |

3. — Le mécanicien doit rester sur la voiture avariée jusqu'à l'arrivée de la voiture de secours.

Digitized by Google

# ANNEXE N° 12

## TRAMWAYS ÉLECTRIQUES DE HAMBOURG[1]

## EXTRAIT

DU

# RÈGLEMENT DES CONDUCTEURS ET MÉCANICIENS

### A. — Instructions générales

*En cas de dérangement ou d'accident, il est recommandé aux agents de toujours garder leur sang-froid.*

*Si la voiture ne démarre pas*, on recherchera :

1. — *Si les deux interrupteurs principaux sont fermés.*

Ces interrupteurs sont placés sous l'auvent des plates-formes. Ils sont fermés quand leur manette est tournée du côté de la cloche d'avertissement et ouverts quand elle est tournée vers la voiture ; l'ouverture et la fermeture peuvent être opérées, soit par le mécanicien, soit par le conducteur.

2. — *Si les plombs fusibles sont bien en circuit.*

Chaque voiture est munie d'un fusible principal sur le circuit du moteur et de deux fusibles accessoires sur celui d'éclairage. Le premier se trouve à gauche de l'un des marchepieds, enfermé dans une boîte en tôle munie d'un couvercle ; le fusible proprement dit est constitué par un fil de plomb muni à chaque extrémité d'une fourchette en cuivre qui est fixée à la boîte par des bornes à vis. Le fusible du circuit d'éclairage est placé à côté du logement des lampes et protégé par une enveloppe en laiton. L'interrupteur d'éclairage se trouve sous l'auvent de plate-forme, à côté de l'interrupteur principal. Le fusible et l'interrupteur d'éclairage de la voiture d'attelage sont montés sous l'auvent de l'autre plate-forme. Le fusible lui-même consiste en une bande de plomb tendue sur un morceau de carton ; le mécanicien le met en circuit simplement en l'introduisant entre des pinces à ressort disposées à cet effet.

3. — *Si le levier d'inversion de marche est à fond de course.*

Le levier d'inversion de marche est le petit maneton en bronze qui se trouve à droite sur le couvercle du régulateur. Le courant est coupé quand ce levier est dans la position où il peut être retiré. Lorsque son index est dirigé vers l'avant, la voiture marche en avant ; lorsqu'il est dirigé vers le mécanicien, la voiture marche en arrière.

Chacune de ces trois positions comporte un cran d'arrêt.

[1] Équipés par l'Union Elektricitäts-Gesellschaft.

Digitized by Google

4. — *S'il y a du courant sur la ligne, ce dont on s'assure en fermant le circuit d'éclairage.*

Le mécanicien n'a pour cela qu'à tourner la clef de l'interrupteur d'éclairage.

5. — *Si les roues sont en contact avec les rails.*

Le mécanicien devra vérifier si les roues reposent directement sur les rails et s'il n'y a pas de sable, de boue ou de neige interposé.

6. — *Si toutes les connexions sont bien en ordre.*

Un agent spécial est chargé de cette vérification.

*Tout dérangement dans le fonctionnement d'une automobile doit être signalé par le mécanicien au premier préposé qu'il rencontre ; il doit aussi en aviser sans délai le chef de dépôt par la voie la plus rapide et d'une façon détaillée.* Le chef du dépôt doit à son tour informer immédiatement le chef d'exploitation de tous les dérangements qui lui sont signalés.

*En outre, le conducteur doit mentionner le fait sur son rapport journalier.*

## B. — Instructions pour le mécanicien

*Le mécanicien s'attachera à bien retenir la série des manœuvres suivantes, dans leur ordre :*

### Avant de mettre en marche.

1. — *Mettre la manette du régulateur au repos.*

La manette du régulateur est la manivelle à poignée de bois qui se trouve à gauche sur le couvercle du régulateur. Elle est au repos quand son index est en face du point marqué « Off ».

2. — *Placer le levier d'inversion dans la position voulue.*

C'est la manœuvre indiquée en A, 3.

3. — *Fermer l'interrupteur principal.*

C'est la manœuvre indiquée en A, 1.

### Pour mettre en marche.

1. — *S'assurer que la voie est libre et donner un coup de cloche avertisseur.*

2. — *Desserrer les freins et tourner lentement la manette du régulateur jusqu'à ce qu'on ait atteint la vitesse désirée.*

Le passage de la manette d'une position à la suivante doit se faire vivement, mais en laissant néanmoins à la voiture le temps de prendre la vitesse correspondant à une combinaison donnée avant de passer à la suivante.

Le moteur électrique prenant ici la place du cheval doit être traité avec autant de ménagements que lui. En particulier, au démarrage, on doit mettre le moteur graduellement en action, de même qu'on ne fait exercer son effort au cheval que progressivement ; pour cela, il faut d'abord amener la manette du régulateur dans la première position, puis, lorsque la voiture a acquis une certaine vitesse, l'amener successivement, de la manière indiquée ci-dessus, dans les positions suivantes.

Digitized by Google

A chacune des six positions de la manette qui règlent la vitesse de la voiture correspond un cran d'arrêt.

**Ralentissements.**

On marchera avec précaution au passage des aiguilles, des croisements, dans les courbes, les remises, les descentes, sur les parties de voie en réparation, etc. On ralentit la marche de la voiture *en ramenant la manette du régulateur en arrière.*

Ce mouvement doit s'exécuter vivement, mais sans force et sans qu'il y ait de choc à l'arrivée au point d'arrêt. On doit le commencer assez tôt pour qu'en arrivant à l'aiguille ou autre point critique la voiture ait déjà sa vitesse amortie, sans qu'on ait besoin de serrer les freins. A la descente des pentes, on serrera en outre les freins à la demande.

*Il est absolument interdit de serrer les freins tant que la manette du régulateur n'est pas au cran d'arrêt.*

**En cas de déraillement de la voiture.**

Ramener immédiatement la manette du régulateur au cran d'arrêt et serrer fortement les freins.

Voir plus loin les instructions pour le conducteur.

**Pour arrêter.**

Ramener la manette au cran d'arrêt et serrer les freins.

**En cas de danger pressant.**

Ramener vivement la manette du régulateur au cran d'arrêt, puis tourner le levier d'inversion de marche de façon à diriger son index vers le mécanicien, enfin amener la manette au premier cran, c'est-à-dire faire machine en arrière. La même manœuvre peut au besoin être employée en cas de non-fonctionnement des freins.

**En cas de déraillement du trôlet.**

Ramener vivement la manette du régulateur au cran d'arrêt, serrer fortement les freins et attendre pour repartir le signal du conducteur, qui est chargé de remettre le trôlet en place.

N. B. — Un mécanicien attentif doit s'apercevoir immédiatement que le trôlet a déraillé.

*Lorsque le mécanicien abandonne sa voiture en route*, il doit amener la manette du régulateur et le levier d'inversion au cran d'arrêt, ouvrir l'interrupteur principal, puis enlever la manette et le levier d'inversion de marche, qu'il garde par devers lui; dans ce cas, les freins doivent toujours être serrés.

*Lorsque le mécanicien abandonne sa voiture dans la remise*, il doit faire les mêmes manœuvres que précédemment et remettre la manette du régulateur et le levier d'inversion au chef de dépôt.

Il veillera à ce que les deux interrupteurs principaux soient ouverts.

Digitized by Google

## C. — Instructions pour le conducteur

### Avant la sortie du dépôt.

Inspecter les cinq lampes (le conducteur de la voiture d'attelage doit en faire autant pour les lampes de cette dernière). Vérifier si tous les objets portés sur l'inventaire se trouvent au complet dans la boîte à outils et s'ils sont en bon état. Appliquer ensuite le trôlet contre le fil de contact, avant que les interrupteurs principaux aient été fermés.

### Pendant la marche.

Dans les descentes, tenir à la main la manivelle du frein, mais sans la serrer.

Dès que le mécanicien en donne le signal avec son sifflet d'alarme, serrer fortement les freins.

Mêmes prescriptions pour le conducteur de la voiture d'attelage.

### En cas de danger pressant.

Prévenir le mécanicien au moyen du sifflet d'alarme.

Même prescription pour le conducteur de la voiture d'attelage ; mais dans le cas où c'est ce dernier qui donne le signal, le conducteur de l'automobile doit le répéter, pour que le mécanicien l'entende plus sûrement.

### En cas de déraillement de l'automobile.

Donner aussitôt le signal d'arrêt. Si les quatre roues ont quitté les rails, prendre dans la boîte à outils le bout de fil de cuivre isolé qui s'y trouve et toucher à la fois avec les deux extrémités de ce fil une des roues et le rail, de façon à obtenir un bon contact entre la roue et la voie. Indiquer ensuite verbalement au mécanicien dans quel sens il doit remettre la voiture en marche.

Si l'une des roues touche encore le rail, il suffit le plus souvent de mettre en marche lentement et avec précaution en arrière. Si l'automobile remorque une voiture d'attelage, il faut auparavant dételer celle-ci.

Pour marcher en arrière sur les aiguilles, les croisements et dans les courbes, il faut toujours retourner le trôlet. Dans les autres cas, il suffit que le conducteur tienne à la main la corde du trôlet bien tendue.

### A la tombée de la nuit.

Mettre les lampes en circuit (voir A, 2 et 4).

S'il y a une voiture d'attelage, le conducteur de l'automobile relie entre eux les circuits d'éclairage des deux voitures de la façon suivante : sur le bord antérieur droit de l'auvent de la voiture d'attelage se trouve un manchon ; on introduit dans ce manchon l'une des chevilles d'extrémité du fil d'accouplement jusqu'à ce qu'on ait entendu le claquement d'un ressort ; on introduit ensuite l'autre cheville dans le manchon de l'automobile, qui fait face au premier ; puis, on tourne la clef de l'interrupteur d'éclairage (A, 2).

N. B. — Il faut avoir soin d'introduire le fil d'accouplement d'abord dans le manchon de la voiture d'attelage.

Digitized by Google

**En cas d'interruption de courant.**

La nuit, allumer les lampes de secours.

**Au passage des aiguilles, croisements, etc.**

Tenir à la main la corde du trôlet et surveiller la roulette. Si elle échappe du fil, la tirer au moyen de la corde et la replacer de suite contre le fil.

**En cas de déraillement du trôlet.**

Donner le signal d'arrêt et abaisser le plus vivement possible la roulette pour la replacer contre le fil. Puis, donner le signal du départ.

**Dans le cas où la voiture refuse de démarrer.**

Voir l'article A, 1, 2, 4 et 5.

**Avant d'abandonner la voiture dans la remise.**

Ouvrir l'interrupteur principal, puis celui des lampes. S'il y a une voiture d'attelage, retirer le fil d'accouplement. Abaisser la roulette et la laisser remonter doucement sur le côté, en ayant soin qu'elle ne touche pas le fil de contact. Remettre la clef de la boîte d'outils au chef de dépôt.

**Prescriptions finales.**

Les aiguilles sans ressort doivent être faites de la plate-forme par le mécanicien avec une barre ad hoc. Les autres aiguilles doivent être faites par le conducteur.

Le mécanicien est seul responsable de la manière dont sont faites les aiguilles ; il ne doit sous aucun prétexte s'engager sur une aiguille mal faite, c'est-à-dire dont la pointe ne toucherait pas le rail.

---

Digitized by Google

## ANNEXE N° 13

### COMPAGNIE NOUVELLE

DES

### TRAMWAYS DE ROUBAIX ET TOURCOING[1]

# RÈGLEMENT D'EXPLOITATION

### SERVICE DES VOITURES A TRACTION ÉLECTRIQUE

ARTICLE PREMIER. — Le mécanicien, en prenant possession de sa voiture, le matin, avant la sortie du dépôt, devra s'assurer du bon fonctionnement des interrupteurs, freins, trompe, éclairage et perche de trôlet et signaler immédiatement au chef de dépôt ceux de ces appareils dont le fonctionnement serait défectueux. Il devra également vérifier l'état du collecteur du moteur et le bon contact des balais.

ART. 2. — Pour le départ, la manœuvre à faire est la suivante :

Mettre en place les manivelles du régulateur, desserrer le frein, fermer les interrupteurs et mettre en place la perche sur le fil de trôlet (cette dernière opération devra être faite par le conducteur, seulement après en avoir reçu l'ordre de son mécanicien).

ART. 3. — Pour la marche :

En principe, les quatre premiers crans d'arrêt du régulateur après le 0 ne doivent servir que pour les démarrages ; il faut éviter avec le *plus grand soin* de rester un temps trop long sur une quelconque de ces quatre premières touches : au contraire le mécanicien pourra laisser sa poignée de manœuvre sur la cinquième touche aussi longtemps qu'il sera nécessaire. Il ne devra jamais se servir de la sixième ou dernière [2].

ART. 4. — Le mécanicien devra amener le plus rapidement possible sa voiture à la vitesse voulue (tout en évitant des démarrages brusques), ramener ensuite sa manivelle au 0 et laisser filer la voiture avec la vitesse acquise le plus longtemps possible tout en réglant avec le frein.

ART. 5. — *Il est rigoureusement interdit, sous peine d'une amende de 20 fr., de serrer le frein en marche avant d'avoir amené la manivelle au 0, et de remettre en marche avant d'avoir desserré le frein.*

[1] Matériel de la Compagnie française Thomson-Houston.

[2] Parce que les moteurs sont des machines américaines marchant trop vite pour la ligne sur laquelle ils sont employés.

Digitized by Google

Cette règle ne comporte aucune exception, même dans le cas prévu à l'article 6 ci-après.

ART. 6. — En cas d'arrêt brusque, pour éviter un tamponnement ou un accident de personne, le mécanicien devra se servir uniquement du frein ; cependant pour un cas très grave, et *seulement dans ce cas*, le mécanicien, après avoir ralenti sa vitesse le plus possible, pourra faire usage de la manivelle de changement de marche.

Pour les arrêts réglementaires il est formellement interdit au mécanicien d'user de ce moyen sous aucun prétexte.

ART. 7. — Au passage des aiguilles aériennes le mécanicien devra marcher à la vitesse d'un homme au pas et sans secousses. Dans les courbes et en général partout où se trouvent des appareils de ligne spéciaux, le conducteur placé à ce moment à l'arrière se tiendra prêt, en tenant la corde de la perche, à la remettre rapidement sur le fil dans le cas où la perche échapperait. La vitesse devra être ralentie dans les courbes de petit rayon. Au passage des ponts les mêmes prescriptions devront être observées, principalement pour le pont-levis du canal.

ART. 8. — Le mécanicien devra obéir aux signaux d'arrêt et de mise en marche faits par le conducteur seulement.

Il est formellement interdit au mécanicien d'adresser la parole ou même de répondre aux voyageurs ou aux passants pendant la marche de la voiture ; il devra corner d'une façon continue mais non exagérée et à intervalles plus rapprochés aux croisements des rues et dans les points les plus fréquentés.

ART. 9. — Le mécanicien devra avoir en sa possession comme rechange : une lampe à incandescence, deux plombs fusibles pour le coupe-circuit général placé sous la voiture, du petit fil de plomb pour le coupe-circuit d'éclairage, et de la graisse consistante ; cette provision devra toujours être au complet.

Il devra avoir en outre un tournevis, une paire de pinces à main et une petite clef.

ART. 10. — A l'arrivée aux têtes de ligne, le mécanicien devra ouvrir son interrupteur, changer ses manivelles et retourner la perche de trôlet ; il devra s'assurer ensuite du degré d'échauffement du moteur, des paliers du moteur et des boîtes à graisse. Dans le cas où un organe viendrait à chauffer d'une façon exagérée, le mécanicien devra en aviser le dépôt dans le plus bref délai possible et par le moyen le plus rapide.

ART. 11. — Aux arrêts (têtes de ligne, garages ou arrêts prolongés intermédiaires) la manivelle de changement de marche devra toujours être au cran de sûreté et, dans le cas où le mécanicien serait obligé de s'absenter quelques instants, il devra emporter cette manivelle avec lui ou la confier au conducteur.

ART. 12. — En cas d'arrêt complet de la voiture, le mécanicien, après avoir ouvert ses deux interrupteurs, devra s'assurer de l'état du plomb fusible du coupe-circuit général et le remplacer de suite dans le cas où il serait fondu. Après cette opération, essayer de nouveau de mettre en marche. Si le plomb

Digitized by Google

était en bon état, vérifier rapidement les connexions aux résistances et au moteur et remettre en place celles qui seraient défaites.

ART. 13. — En cas d'extinction de l'éclairage, vérifier le fil de plomb du petit coupe-circuit placé dans la voiture et le remplacer s'il est fondu; vérifier ensuite si une des lampes n'est pas cassée ou brûlée et la remplacer de suite après avoir coupé le courant.

ART. 14. — Rentrée au dépôt.

Après avoir amené sa voiture à l'emplacement désigné sur l'une des voies du dépôt, le mécanicien devra serrer son frein, ouvrir tous les interrupteurs et retirer les manivelles. Le conducteur devra retirer la perche et la laisser se relever le plus possible.

ART. 15. — Avant de quitter le dépôt, le mécanicien devra signaler *par écrit* au chef de dépôt tous les appareils dont le fonctionnement aurait laissé à désirer pendant la marche de la journée.

## VISITE ET ENTRETIEN DES VOITURES

ART. 1. — Chaque voiture après sa rentrée devra être préalablement nettoyée et ensuite placée sur la fosse à visite.

ART. 2. — Les hommes chargés de la visite devront s'assurer :

1° Que tous les appareils fonctionnent bien ;

2° Que toutes les connexions sont bien fixées ;

3° Que les touches des régulateurs forment suffisamment ressort pour assurer un bon contact (il est bon de graisser légèrement de temps en temps les plots avec un tampon imbibé de vaseline) ;

4° Que les boîtes à graisse, les paliers et la boîte d'engrenages sont suffisamment garnis d'huile ou de graisse consistante ;

5° Que la graisse des coussinets de l'induit du moteur n'a pas coulé au fond de l'enveloppe; dans ce cas l'essuyer, s'il y en a peu, et démonter le moteur pour le nettoyer complètement, s'il y en a beaucoup; essuyer également la poussière de charbon sur le collecteur;

6° Que le collecteur et les balais sont en bon état, et remplacer ces derniers quand ils sont usés après les avoir fait bouillir dans la vaseline ;

7° Nettoyer complètement et parfaitement le moteur et l'essieu moteur.

ART. 3. — Les nettoyages prescrits ci-dessus se font soit à sec, à la brosse, soit avec des chiffons ou déchets gras, *mais jamais mouillés d'eau.*

ART. 4. — Après dix jours de marche au plus, chaque voiture devra être placée sur la fosse, visitée et nettoyée complètement.

Digitized by Google

## ANNEXE N° 14

COMPAGNIE DES TRAMWAYS DE ROUEN[1]

# INSTRUCTIONS

SUR LE

# FONCTIONNEMENT DES VOITURES ÉLECTRIQUES

### INSTRUCTIONS GÉNÉRALES

*Ne jamais perdre le calme si un dérangement vient à se produire.*

Le *mécanicien* et le *receveur* doivent être d'accord pour les manœuvres des voitures. Le matin, ils doivent prendre leur voiture sous les hangars et l'y remettre le soir. Une fois la voiture remisée, le mécanicien doit enlever les deux manivelles du régulateur et les mettre au placard.

Le conducteur ne doit pas quitter sa voiture pour aller verser sa recette avant qu'elle soit en place sous le hangar.

N..B. — *Faire les manœuvres très lentement dans l'intérieur du dépôt.*

### Pour remettre un plomb fusible.

Ouvrir l'interrupteur principal, baisser le trôlet et placer le plomb en ayant soin de bien serrer les bornes qui le tiennent.

Remettre le trôlet sur le fil, fermer l'interrupteur et remettre en marche.

Si deux plombs brûlent successivement, il est évident qu'il y a quelque chose d'anormal à la voiture. Dans ce cas, baisser le trôlet et faire pousser la voiture par la voiture suivante.

*Tout dérangement doit être signalé immédiatement au chef mécanicien et aux contrôleurs de route.*

### INSTRUCTIONS SPÉCIALES POUR LES MÉCANICIENS

L'ordre de manœuvre ci-après doit être rigoureusement observé.

*Avant de mettre en marche.* — Placer la grande manivelle du régulateur au repos. Placer la petite manivelle dans la position de la marche.

Fermer les interrupteurs principaux placés sous la capote de la voiture.

*Pour mettre en marche.* — Desserrer les freins, tourner la grande manivelle, cran par cran, jusqu'à la vitesse voulue.

[1] Matériel de la Compagnie française Thomson-Houston.

Digitized by Google

Si la voiture ne démarre pas, il faut s'assurer :

1° Si les interrupteurs principaux sont fermés ;

2° Si le plomb n'est pas fondu ;

3° Si le trôlet n'a pas quitté le fil ;

4° S'il y a du courant sur la ligne, ce qui se voit en tournant la clef des lampes ;

5° Si la petite manivelle du régulateur est bien poussée à fond ;

6° S'il y a contact entre les roues et les rails.

*Pendant la marche.* — Marcher avec une vitesse régulière. Ralentir la vitesse et mettre la grande manivelle au repos dans les croisements, les aiguilles, en entrant dans les garages et dans les courbes.

*Dans les descentes.* — Mettre la grande manivelle au repos et régler la vitesse en serrant le frein. Se tenir toujours à la vitesse réglementaire.

*Pour stopper.* — Mettre la grande manivelle au repos et serrer le frein.

*Pour stopper rapidement, et seulement en cas de danger.* — Mettre la grande manivelle au repos, tourner la petite manivelle dans le sens opposé, tourner de nouveau la grande manivelle pour mettre en marche, mais d'un cran seulement et sans dépasser le premier cran.

N. B. — *Il est absolument défendu de se servir de ce système d'arrêt, excepté en cas de nécessité absolue.*

*Si le trôlet saute du fil.* — Mettre rapidement la grande manivelle au repos et serrer le frein. Attendre le signal du receveur pour remettre en marche.

*Quand on est obligé de quitter la voiture.* — Mettre la grande manivelle au repos, serrer le frein, enlever les deux manivelles.

*Il ne faut jamais :*

Mettre en marche avec le frein serré ;

Renverser le courant sans nécessité absolue ;

Descendre les pentes avec du courant ;

Monter les rampes en mettant la grande manivelle au dernier cran ;

Arrêter dans les courbes ;

Marcher le trôlet en avant ou marcher en arrière sans changer le trôlet ;

Oublier de ralentir la vitesse dans les courbes, croisements, aiguillages, etc.

### INSTRUCTIONS POUR LE RECEVEUR

Avant de quitter le dépôt le matin, le receveur doit s'assurer que les lampes et les plombs fusibles de réserve se trouvent dans la boîte à outils placée dans la voiture. Il doit tourner la clef des lampes pour s'assurer qu'elles fonctionnent.

Le receveur est responsable des outils.

Le receveur doit se familiariser avec la manœuvre de la voiture, afin de remplacer le mécanicien en cas d'accident.

Il doit s'habituer à mettre le trôlet sur le fil sans quitter la plate-forme de la voiture.

Digitized by Google

Il doit tenir la corde en main à la sortie, à l'entrée du dépôt, aux croisements, aiguillages, et en général dans tous les endroits où le trôlet saute du fil.

La perception terminée, il doit porter toute son attention au trôlet. Si le trôlet saute du fil, le receveur doit sonner l'arrêt pour que le mécanicien mette la grande manivelle au cran d'arrêt, et sonner le départ sitôt le trôlet remis en place.

Si la corde du trôlet casse, monter sur la voiture immédiatement et la rattacher.

Si la perche du trôlet est faussée, monter sur la voiture, baisser le trôlet et le redresser le mieux possible.

## PRESCRIPTIONS FINALES

*Les mécaniciens et receveurs doivent lire attentivement cette notice afin de pouvoir répondre aux questions des chefs mécaniciens et contrôleurs de route concernant les manœuvres et la conduite des voitures électriques.*

### En cas de manque de courant.

En prenant leur service, les mécaniciens et les receveurs devront bien remarquer le numéro de leur voiture et l'avoir toujours à l'esprit.

Dans les cas où les voitures viendraient à s'arrêter par suite de manque de courant sur la ligne, les mécaniciens doivent serrer le frein et mettre la grande manivelle au cran de repos.

Lorsque le courant sera revenu, les mécaniciens conduisant les voitures portant les numéros *pairs* démarreront de suite.

Les mécaniciens conduisant les voitures portant les numéros *impairs*, démarreront 15 secondes après.

Digitized by Google

## ANNEXE N° 15

### COMPAGNIE

DES

### TRAMWAYS ÉLECTRIQUES D'ANGERS[1]

# INSTRUCTIONS POUR LES MÉCANICIENS

t la mise en service d'une voiture, on devra s'assurer que les boites à e l'essieu sont garnies d'huile et que les boites à graisse de l'arbre de . des moteurs ainsi que celles des paliers supportant le moteur sur sont garnies de graisse consistante, que l'on devra pousser à fond ı bâton propre.

engrenages seront graissés avec un mélange de graisse, d'huile et de gine, en quantité telle que le fond de l'enveloppe en soit garni, et qu'à es dents y plongent de 0,01 m. environ.

a bon également d'huiler légèrement les glissières des boites à graisse. eillera d'une façon toute particulière à ce que le collecteur des moteurs ıu dans le plus grand état de propreté ; on essuiera chaque jour la pous- e charbon produite pendant la marche de la veille.

palais devront jouer librement dans leur gaine et porter sur le collec- ır toute leur surface.

t de fermer la trappe, on s'assurera que la plaque de protection en ıouc est bien étalée à plat sur le moteur, de façon à le garantir contre jections d'eau et de boue qui pourraient se faire par le plancher de la .

ıd une voiture rentrera au dépôt, il faudra examiner s'il ne s'est produit échauffement anormal des boites à huile, auquel cas il faudrait les ter sans retard et les nettoyer ; en les replaçant, la cale doit forcer légè- t.

#### COMMUTATEUR

que voiture est munie d'un commutateur principal placé sous la ban- et se manœuvrant de l'extérieur à l'aide d'une clef en fer avec goupille . Cet appareil permet de marcher soit avec le moteur de droite, soit elui de gauche, soit avec les deux moteurs en quantité.

narchera de préférence toujours avec les deux moteurs.

ériel de la Compagnie de Fives Lille.

RÉGULATE

ant de mettre en marche, il f
a plate-forme arrière est comp
a perche du trôlet doit être inc
ressorts de rappel de la perc
à faire avec elle un angle ai
our démarrer, on met la mani
la plate-forme sur la touche r
ture ait acquis une certaine
ntes ; à partir de cet instant,
sur une touche quelconque, d
les trois touches sur lesquelles
ions marquées 2, 5, 8.
Pour arrêter, on ramène la ma
ment que l'on veut ; on serre en
est indispensable que le mécan
ramener à l'arrêt l'appareil Sp
de sa part pouvant entraine
hors service des moteurs.
positions à gauche de la pos
sont des positions de freina
ème brusque.
ne devra s'en servir qu'excepti
du choc auquel sont soumis les
a marche arrière s'obtient en lev
nant la manivelle sur l'étoile plac
ne se servira de cette marche q
le, par exemple, et avec la plus
la perche du trôlet.
on a un chemin un peu long
et passer sur la plate-forme op
En cas d'accident survenant en rou
on ramènera à l'arrêt la maniv
gera le plomb, dont on devra a
artir, on mettra le commutateur s
on supposera être resté intact, e
nouveau, on essaiera le deuxième

Digitized by Google

### RÉGULATEUR DE PLATE-FORME

Avant de mettre en marche, il faudra s'assurer que la chaîne du frein à main de la plate-forme arrière est complètement libre et non enroulée sur la tige.

La perche du trôlet doit être inclinée d'avant en arrière, et le châssis portant les ressorts de rappel de la perche doit être placé en dessous de celle-ci, de façon à faire avec elle un angle aigu.

Pour démarrer, on met la manivelle de l'appareil de mise en marche placé sur la plate-forme sur la touche marquée 1, et on l'y laisse jusqu'à ce que la voiture ait acquis une certaine vitesse; on passe alors sur la touche 2 et les suivantes; à partir de cet instant, on peut rester aussi longtemps que l'on veut sur une touche quelconque, donnant la vitesse que l'on désire.

Les trois touches sur lesquelles on pourra demeurer de préférence sont les positions marquées 2, 5, 8.

Pour arrêter, on ramène la manivelle à la position d'arrêt, et cela aussi vivement que l'on veut; on serre ensuite le frein à main.

Il est indispensable que le mécanicien soit bien averti de la nécessité qu'il y a de ramener à l'arrêt l'appareil Sprague avant de serrer son frein à main, une erreur de sa part pouvant entraîner la fusion du coupe-circuit ou même la mise hors service des moteurs.

Les positions à gauche de la position d'arrêt et marquées chacune d'une étoile sont des positions de freinage électrique, la première modérée, la deuxième brusque.

On ne devra s'en servir qu'exceptionnellement et en cas de danger absolu, à cause du choc auquel sont soumis les voyageurs.

La marche arrière s'obtient en levant l'arrêt rabattu sur le couvercle et en amenant la manivelle sur l'étoile placée en face du mot « Arrière ».

On ne se servira de cette marche que pour le cas où on aurait manqué une aiguille, par exemple, et avec la plus grande circonspection, car on s'expose à tordre la perche du trôlet.

Si l'on a un chemin un peu long à parcourir, il vaut mieux retourner le trôlet et passer sur la plate-forme opposée.

En cas d'accident survenant en route à un moteur, le plomb fusible ayant sauté, on ramènera à l'arrêt la manivelle du régulateur de plate-forme et on changera le plomb, dont on devra avoir un ou deux de rechange. Avant de repartir, on mettra le commutateur sur un des moteurs, de préférence celui que l'on supposera être resté intact, et on mettra en route; si le plomb saute de nouveau, on essaiera le deuxième moteur après avoir changé le plomb.

---

Digitized by Google

# ANNEXE N° 16

## RÈGLEMENT

### A L'USAGE DU PERSONNEL AFFECTÉ

### A LA

## CONDUITE DES VOITURES ÉLECTRIQUES

### DU RÉSEAU DES TRAMWAYS DE LA VILLE DE LYON

### COCHERS

Les cochers électriciens devront, tout d'abord, se conformer aux prescriptions de l'arrêté du 26 décembre 1891, et plus spécialement aux articles 21, 22, 23, 24 et 25 de cet arrêté, aux annexes en date des 7 juillet 1892, 4 novembre 1893, 9 août et 15 novembre 1895, et à l'extrait du décret du 6 août 1881, dont il leur sera délivré copie.

Ils devront, en outre, se conformer rigoureusement aux dispositions spéciales suivantes :

Il est formellement interdit aux cochers électriciens de prendre du courant avant d'avoir desserré complètement leurs freins.

Lorsque deux tramways se rencontrent sur un garage entre deux parties de voie unique, il est prescrit aux cochers de stationner sur le garage à égale distance des aiguilles, afin de les dégager entièrement.

Lorsque deux tramways s'aperçoivent aux deux extrémités d'une voie unique, c'est celui qui se dirige sur le centre de la ville qui doit passer le premier, et celui qui s'en éloigne se garer.

Lorsque deux voitures sont engagées sur une voie unique, celle qui se trouvera le plus rapprochée du garage ou de la double voie devra reculer pour laisser le passage libre.

Par les temps brumeux et de brouillards épais, ils devront corner très souvent et presque sans interruption quand ils se trouvent engagés sur une voie unique.

Pour le passage d'une voie sur une autre, les cochers doivent ralentir l'allure et même marcher au pas, arrêter au besoin pour donner aux conducteurs le temps d'aiguiller avec soin. Ils ne reprennent la marche ordinaire qu'après certitude d'avoir dépassé l'aiguille.

Lorsque deux voitures se trouvent en présence sur un garage, la voiture allant dans le sens de Lyon doit partir la première, et celle allant dans le sens opposé attendra toujours un intervalle de 5 secondes, avant de reprendre sa route.

En cas d'interruption accidentelle de courant sur la ligne, les cochers

Digitized by Google

doivent ramener la grande manivelle du régulateur à zéro, et ne chercher à mouvoir à nouveau cette manivelle qu'après avoir allumé les lampes, allumage qui leur indiquera sûrement si le courant a été rétabli; ils démarreront alors avec précaution, puis ils feront fermer, par les conducteurs, l'interrupteur à lumière si l'interruption accidentelle du courant se produit en plein jour.

Avant de traverser une voie de tramway ou de chemin de fer, le cocher devra marquer l'arrêt afin de s'assurer qu'aucun train n'est en vue (2e *alinéa de l'article* 25 *de l'arrêté préfectoral*). Dans le cas d'un croisement avec un train, c'est le cocher qui aura, avant l'arrêt, corné le premier qui passera devant l'autre, mais pas avant de s'être assuré que le train qu'il doit croiser est complètement arrêté (8e *alinéa de l'article* 17 *de l'arrêté préfectoral*).

Les cochers ne doivent pas seulement se borner à corner quand ils aperçoivent une voiture sur la voie ferrée qu'ils suivent : leur appel peut ne pas être entendu, ou bien la voiture peut être dans l'impossibilité de se déplacer pour une raison quelconque; il faut, dès qu'ils voient un obstacle, qu'ils ralentissent leur allure, de manière à être complètement maîtres de leur voiture.

Lorsqu'un cocher verra qu'une voiture stationne ou est en détresse devant la sienne, il ne devra se remettre en marche qu'après s'être assuré que la voiture d'avant est elle-même en mouvement.

En arrivant sur les courbes, il doit ralentir l'allure de sa voiture, qui ne doit pas dépasser celle d'un homme allant au pas.

Il est expressément interdit, sauf en cas de danger, d'utiliser l'appareil pour la marche en arrière.

Les cochers électriciens doivent arrêter complètement leurs voitures aux points d'arrêt désignés sur la ligne, et n'en repartir qu'après en avoir reçu l'ordre du conducteur par le signal convenu; ils doivent modérer leur allure en passant aux points d'arrêt facultatif, et, au besoin, arrêter leurs voitures si des voyageurs demandent à monter ou si le conducteur fait le signal d'arrêt.

La distance à laisser entre deux voitures électriques ou entre une voiture électromotrice et un tramway à chevaux ne pourra être inférieure à 100 mètres.

Il est formellement interdit aux cochers de confier la conduite de leurs voitures à une personne non autorisée par la direction.

De la place Le Viste à la rue de la Madeleine inclusivement, les cochers électriciens devront se conformer rigoureusement aux prescriptions de l'article 24 de l'arrêté préfectoral du 26 décembre 1891; de la place de la Charité au cours Bayard, ils devront également observer ces prescriptions et ne pas dépasser sensiblement l'allure des tramways ordinaires à chevaux, circulant sur le quai de la Charité.

Dans la partie comprise entre la rue Duhamel et l'arrêt du pont du Midi, c'est-à-dire avant et pendant la traversée du cours du Midi, l'allure ne devra pas dépasser celle d'un tramway à chevaux au petit trot. Les cochers doivent, en outre, corner à 50 mètres au moins en avant du croisement des diverses rues transversales au quai, et supprimer le courant 10 mètres au moins avant ce croisement afin de ralentir la vitesse.

En arrivant sur les courbes en général, et particulièrement *pour la ligne de Saint-Fons*, sur celles : cours Gambetta-avenue de Saxe, avenue de Saxe-Rue



Digitized by Google

e la Thibaudière, place Saint-Louis, village de Saint-Fons; *pour la ligne 'Oullins*, sur celles : de la place de la Charité, de la caserne de Perrache, de entrée du pont de la Mulatière (rive droite), et de l'entrée de la Grande-Rue 'Oullins, ainsi que sous le viaduc du chemin de fer (quai Perrache), et sur le ont de la Mulatière, ils doivent ralentir l'allure et aborder, au pas, l'entrée . la sortie du pont.

### CONDUCTEURS

*Voitures automobiles.* — Les conducteurs doivent tenir en main, aux ›urbes, la corde du trôlet, en lui donnant juste le mou nécessaire, de anière que si la roulette vient à échapper, le bras du trôlet ne fouette pas ı tous sens, ce qui est toujours la cause des avaries signalées.

*Voitures remorquées.* — Les conducteurs en service supplémentaire sur les ›itures remorquées doivent s'assurer, avant le départ de chaque tête de ligne, ıe les chaînes de sûreté sont accrochées après les voitures automobiles; que fil de jonction, réunissant la voiture électrique à la voiture remorquée, pré-nte bien celui de ses bouts qui est recouvert de caoutchouc du côté de la iture électrique.

En cours de route, ils doivent se tenir aux freins sur les parties en pente cela aussi bien à la montée qu'à la descente des déclivités.

Le serrage des freins devra être fait régulièrement à la descente des pentes; r les rampes, les conducteurs devront être prêts à serrer les freins en cas rupture de la barre d'attelage et des chaînes de sûreté.

Les conducteurs devront faire arrêter leurs voitures pour les voyageurs qui udront descendre aux points d'arrêt facultatif désignés sur la ligne.

*Accidents.* — Toutes les fois qu'un voyageur fait une chute de voiture ou 'une personne est heurtée par le tramway, le conducteur doit immédiate-ent donner le signal d'arrêt et se porter à son secours; il doit de plus et sur-ıt veiller à ce que les soins qui peuvent lui être utiles lui soient prodigués, à cet effet, le faire transporter dans la pharmacie la plus voisine. Il doit endre le nom des voyageurs ou des passants témoins de l'accident, en rendre mpte à la station terminus, et remettre, à sa rentrée au dépôt, une déclara-n d'accident, signée de lui et du cocher, qui sera transmise à la direction r les soins du chef de dépôt.

En cas d'accident grave, le conducteur et le cocher doivent en faire la décla-ion au commissariat de police du quartier, aussitôt qu'ils ont terminé leur vice.

(*Approuvé par décision préfectorale du* 16 *mai* 1896.)

---

ANN

RÉGL

SERVICE DES TR
OU A TRAC
DE LA VILLE DE L

ARRÊTÉ DU P
En date du 26 *décembre* 1891, *mod*
4 *novembre* 18

ARTICLE PREMIER. — L'exploitation
ne ou à chevaux, en service à Ly
ditions suivantes :

SERVICE GÉNÉRAL

ART. 2. — Toute voiture mise en ci
ches d'éclairage et devra porter, d

*A l'extérieur :*

Le nom ou les initiales de la Comp
Un numéro d'ordre ;
Les noms des stations extrêmes de
stations intermédiaires ;

*A l'intérieur :*

Le même numéro que celui placé à
Les noms des stations desservies dir
L'indication des points et lignes de
Dans chaque compartiment et de la
Sa classe de ce compartiment ;
Dans chaque compartiment, le nomb
Le tarif du prix des places ;
L'interdiction de fumer, dans les comp
Les horaires en vigueur de la ligne et
Une copie de l'article 36 du décret du
Une copie du présent règlement.

ART. 3. — Pour les lignes où les voitures
Les points d'arrêt du tramway ser

Digitized by Google

# ANNEXE N° 17

## RÉGLEMENTATION

DU

## SERVICE DES TRAMWAYS A CHEVAUX OU A TRACTION MÉCANIQUE

DE LA VILLE DE LYON OU Y ABOUTISSANT

### ARRÊTÉ DU PRÉFET DU RHONE

*En date du* 26 *décembre* 1891, *modifié par les annexes des* 7 *juillet* 1892, 4 *novembre* 1893 *et* 9 *août* 1895.

ARTICLE PREMIER. — L'exploitation des lignes de tramways, à traction mécanique ou à chevaux, en service à Lyon ou y aboutissant, est assujettie aux conditions suivantes :

#### SERVICE GÉNÉRAL DE L'EXPLOITATION

ART. 2. — Toute voiture mise en circulation sera pourvue, à l'intérieur, de lanternes d'éclairage et devra porter, d'une manière apparente :

*A l'extérieur :*

1° Le nom ou les initiales de la Compagnie à laquelle elle appartient ;
2° Un numéro d'ordre ;
3° Les noms des stations extrêmes de son parcours et, s'il y a lieu, les noms des stations intermédiaires ;

*A l'intérieur :*

1° Le même numéro que celui placé à l'extérieur ;
2° Les noms des stations desservies directement par la voiture ;
3° L'indication des points et lignes de correspondance, s'il y a lieu ;
4° Dans chaque compartiment et de la manière la plus apparente, l'indication de la classe de ce compartiment ;
5° Dans chaque compartiment, le nombre de places ;
6° Le tarif du prix des places ;
7° L'interdiction de fumer, dans les compartiments réservés aux non-fumeurs ;
8° Les horaires en vigueur de la ligne et de ses correspondances ;
9° Une copie de l'article 36 du décret du 6 août 1881 ;
10° Une copie du présent règlement.

ART. 3. — Pour les lignes où les voitures ne s'arrêtent qu'à des points déterminés, ces points d'arrêt du tramway seront, autant que possible, indiqués

Digitized by Google

un poteau ou une plaque indicatrice, portant les mots : « Arrêt du tram-
y de..... à..... ». Au-dessous de la plaque seront affichés :
° Un horaire de la ligne ;
° Une copie de l'article 35 du décret du 6 août 1881.

RT. 4. — Les bureaux d'attente ou de contrôle contiendront :
° Des affiches de l'horaire ;
° Des affiches des tarifs en vigueur ;
° Des exemplaires affichés du règlement du 6 août 1881, des articles de l'or-
nance royale du 15 novembre 1846, du décret du 30 avril 1880 et du décret
12 août 1874 auxquels il se réfère et du présent arrêté réglementaire.

RT. 5. — Les bureaux, ainsi que leurs abords, seront tenus dans un état
stant de propreté et de salubrité.
est interdit de fumer à l'intérieur.

RT. 6 — Dans les bureaux d'attente et de correspondance, il sera remis à
que voyageur, en cas d'affluence, un numéro indicatif de l'ordre dans lequel
evra être admis dans les voitures.
es numéros correspondront à autant de séries distinctes que le tramway
nportera de classes, de façon à réserver aux voyageurs la faculté de prendre
catégorie de places qu'ils jugeront à propos, tout en conservant le béné-
du numéro d'ordre qui leur sera dévolu.
'appel des numéros se fera, par série et dans leur ordre, en commençant
la première classe.
ans le cas où, avant le contrôle des voyageurs et après appel des numéros
vrés pour chaque classe, des places resteraient vacantes dans l'une quel-
que de ces classes, elles pourront être prises, s'ils le jugent à propos, par
voyageurs porteurs de numéros d'une classe différente, qui, à raison de
rang, seraient obligés d'attendre un autre départ ; sauf, bien entendu, à
nitter le prix correspondant à la place par eux effectivement occupée.

PERSONNEL. — PRESCRIPTIONS GÉNÉRALES

RT. 7. — Tous les agents de l'exploitation des tramways qui seront appe-
à avoir des rapports avec le public devront avoir un uniforme spécial ou
insignes suffisants pour faire connaître leurs fonctions.

RT. 8. — Ils seront tenus à la plus grande politesse vis-à-vis du public et
ont lui fournir tous les renseignements dont il pourrait avoir besoin sur
rtie du service entrant dans leurs attributions respectives.
devront également, en toutes circonstances, avoir les plus grands égards
les agents de l'autorité et déférer aux ordres qu'ils en recevront.

PERSONNEL DES BUREAUX D'ATTENTE

T. 9. — La Compagnie n'emploiera que des contrôleurs buralistes por-
d'une autorisation délivrée par nous et qu'ils devront présenter à toute
isition des agents de l'autorité.

Digitized by Google

Cette autorisation pourra leur être retirée, temporairement ou définitivement, en cas d'infraction au règlement ou de plaintes graves justifiées.

ART. 10. — Les contrôleurs buralistes tiendront à la disposition du public le registre des plaintes prévu par l'article 53 du décret du 6 août 1881 et veilleront à l'exécution des articles 5 et 6 du présent règlement.

Ils mettront de côté et déposeront au bureau de police les objets oubliés.

### PERSONNEL DES VOITURES ET DES TRAINS

ART. 11. — Les Compagnies ne pourront employer que des mécaniciens ou des chauffeurs âgés d'au moins vingt ans, et des cochers et des conducteurs d'au moins dix-huit ans, pourvus d'un permis de conduire et d'un bulletin d'entrée au service délivrés par nous, sur les propositions que nous adresseront les Compagnies, lesquelles devront, à cet effet, se pourvoir de formules imprimées, conformes au modèle qui leur sera donné par la préfecture.

ART. 12. — Le jour même où un mécanicien, un chauffeur, un cocher ou un conducteur entrera au service d'une Compagnie, celle-ci fera prendre à la préfecture le permis de conduire de ces employés. Lorsqu'ils quitteront le service de la Compagnie, celle-ci devra, dans les vingt-quatre heures, rapporter ce permis.

Lorsque l'autorisation de conduire aura été retirée par la préfecture, le permis sera également rapporté par la Compagnie dans les vingt-quatre heures de l'avis qui lui sera donné de cette mesure.

ART. 13. — La Compagnie, en prenant un cocher, un conducteur, un chauffeur ou un mécanicien, devra inscrire sur leur permis de conduire et sur leur bulletin la date de leur entrée en service.

A leur sortie, la Compagnie devra également en inscrire la date sur le permis avant d'effectuer le renvoi de ce document à la préfecture.

ART. 14. — Les Compagnies tiendront un registre, sur lequel elles inscriront immédiatement les noms, prénoms et domicile de leurs cochers, conducteurs, chauffeurs ou mécaniciens, ainsi que le numéro de leur inscription à la préfecture.

Elles inscriront aussi, chaque jour, sur ce registre le numéro de la voiture dont la conduite aura été confiée à chaque conducteur ou mécanicien.

Elles seront tenues de représenter ce registre à toute réquisition des agents de l'autorité.

ART. 15. — Tout cocher, conducteur, chauffeur ou mécanicien qui conduira, étant en état d'ivresse, sera, suivant les circonstances, passible du retrait temporaire ou définitif de son autorisation, sans préjudice de toutes autres responsabilités.

ART. 16. — Les cochers, mécaniciens, chauffeurs ou conducteurs devront porter sur eux et présenter à toute réquisition des agents de l'autorité leurs permis de conduire et bulletin d'entrée en service et un livret comprenant :

1° Une copie des articles 24 inclus à 36 inclus du décret du 6 août 1881, dans

Digitized by Google

: seront soulignés les passages les concernant plus particulière-

ıe copie du présent règlement, dans laquelle seront également souli-
s passages les concernant plus particulièrement;
:s prescriptions spéciales édictées, en ce qui concerne la ligne à laquelle
t affectés, soit par les arrêtés préfectoraux, en vertu du premier para-
: de l'article 33 du décret du 6 août 1881, soit par les règlements inté-

n cahier de pages blanches réservées au visa et aux observations des
de l'exploitation et du contrôle.

DEVOIRS DU COCHER (TRAMWAYS A CHEVAUX)

. 17, 18, 19 et 20. — (Pour mémoire.)

TRAMWAYS A TRACTION MÉCANIQUE

(*Devoirs propres aux mécaniciens*)

'. 21. — Le mécanicien ne doit jamais abandonner sa machine sur la voie
que, et il doit toujours se trouver à l'avant, dans le sens de la marche,
: quand il s'agit de simples manœuvres.

r. 22. — En route, le mécanicien doit toujours regarder la voie, en se
ıt prêt à arrêter et à faire entendre le son de la corne, d'une façon répétée,
que la voie sera encombrée.
ralentira la marche du train et l'arrêtera même toutes les fois qu'il s'a-
:vra que son approche, en effrayant les chevaux et autres animaux, peut
sionner des accidents ou être une cause de désordre.

T. 23. — Le mécanicien devra toujours faire entendre le son de la corne
ıoins trente mètres avant de traverser une voie de communication.

ıT. 24. — La vitesse des trains ne doit jamais, en aucun cas, dépasser
t kilomètres à l'heure. Elle sera réduite à dix kilomètres au droit des
transversales et sur les voies encombrées ou déclives. Enfin, elle n'excè-
pas six kilomètres, au plus, sur les points particulièrement dangereux.
ımment vers les pointes d'aiguille et dans les courbes de faible rayon.

RT. 25. — Sur les vingt mètres qui précèdent la traversée d'une voie de
nway ou de chemin de fer, la vitesse du train n'excédera pas celle d'un
ıme marchant au pas, soit quatre kilomètres à l'heure.
vant de traverser la voie, le mécanicien devra marquer l'arrêt, pour s'as-
:r que le passage est libre.
ıans le cas de croisement de deux trains, c'est le mécanicien du train faisant
:ndre le premier le son de la corne après l'arrêt qui démarrera et croisera le
mier.
ıe mécanicien qui doit partir le premier ne devra démarrer que lorsqu'il se
ı assuré que le train qu'il doit croiser est complètement arrêté.

ART. 26. — Le mécanicien ne
de troupes.
mécanicien qui rencontre u
aussitôt qu'il arrive à haut
tout le temps du passage
mécanicien qui doit dépass
son approche par des appe
quand il arrivera à haute
reçu l'autorisation du comm
qu'il passera devant les trou
au pas.

TRAMWAYS A CHEVAU

(*Devoirs pro*

ART. 27. — Le conducteur mainti
à ce que les voyageurs se place
Il aidera, s'il est besoin, les

ART. 28. — Il veillera à l'*exécuti*
par l'article 36 du décre

ART. 29. — Il lui est défendu de

ART. 30. — Il constatera dans un
un procès-verbal les *infractions*
pourraient être commises par de

ART. 31. — Le conducteur annonc
places, quais, etc., où des arrêt
signalera également, s'il y a lieu
la direction des lignes avec

ART. 32. — Le conducteur visitera

objets oubliés devront être dép
des contrôleurs buralistes, ce
au commissariat de police, com

ART. 33. — En cas d'accident et pa
de l'article 39 du décret du 6
immédiatement le commissaire
dans le ressort duquel l'accide
le chef d'exploitation, qui sera ch
du contrôle.

ART. 34. — Toutes les contraventions
en vigueur, seront poursuivies e
de la loi du 15 juillet 1845, re
de la loi du 11 juin 1880 et l'

Digitized by Google

Art. 26. — Le mécanicien ne devra pas couper les convois ni les détachements de troupes.

Le mécanicien qui rencontre un détachement de cavaliers doit arrêter son train aussitôt qu'il arrive à hauteur de la tête de colonne et conserver l'arrêt pendant tout le temps du passage du détachement.

Le mécanicien qui doit dépasser un détachement de cavaliers fera connaître son approche par des appels répétés de trois coups de corne; il s'arrêtera quand il arrivera à hauteur des troupes et ne repartira qu'après en avoir reçu l'autorisation du commandant du détachement. Pendant tout le temps qu'il passera devant les troupes, l'allure du train sera celle d'un homme marchant au pas.

### TRAMWAYS A CHEVAUX ET A TRACTION MÉCANIQUE

(*Devoirs propres aux conducteurs*)

Art. 27. — Le conducteur maintiendra le bon ordre dans la voiture et veillera à ce que les voyageurs se placent de manière à ne pas se gêner mutuellement. Il aidera, s'il est besoin, les voyageurs à monter ou à descendre.

Art. 28. — Il veillera à l'exécution des dispositions édictées, à l'égard des voyageurs, par l'article 36 du décret du 6 août 1881.

Art. 29. — Il lui est défendu de laisser aucun individu se suspendre aux voitures.

Art. 30. — Il constatera dans un bulletin spécial ou, s'il est assermenté, dans un procès-verbal les infractions à l'article 35 du décret du 6 août 1881 qui pourraient être commises par des personnes étrangères.

Art. 31. — Le conducteur annoncera, à haute voix, les points du parcours, rues, places, quais, etc., où des arrêts sont établis.

Il signalera également, s'il y a lieu, les bureaux de correspondance, en indiquant la direction des lignes avec lesquelles la correspondance est établie.

Art. 32. — Le conducteur visitera la voiture immédiatement après chaque course.

Les objets oubliés devront être déposés, dans les vingt-quatre heures, aux bureaux des contrôleurs buralistes, ces derniers étant chargés d'en assurer le dépôt au commissariat de police, comme il est dit à l'article 10.

Art. 33. — En cas d'accident et par application de l'avant-dernier paragraphe de l'article 39 du décret du 6 août 1881, le conducteur-chef du train avisera immédiatement le commissaire de police ou le brigadier de gendarmerie dans le ressort duquel l'accident s'est produit. Il avisera en même temps le chef d'exploitation, qui sera chargé d'informer le préfet et l'ingénieur en chef du contrôle.

Art. 34. — Toutes les contraventions au présent arrêté, ainsi qu'aux règlements en vigueur, seront poursuivies et réprimées conformément aux dispositions de la loi du 15 juillet 1845, rendues applicables aux tramways par l'article 37 de la loi du 11 juin 1880 et l'article 56 du décret du 6 août 1881.

Digitized by Google

ART. 35. — M. le secrétaire général pour la police, M. l'ingénieur en chef des ponts et chaussées, chargé du contrôle, M. le chef d'escadron commandant la gendarmerie du Rhône, ainsi que tous les agents de la force publique et du contrôle, sont chargés d'assurer l'exécution du présent arrêté, dont un exemplaire sera transmis, pour notification, à chacune des Compagnies concessionnaires ou exploitantes.

ART. 36. — Est rapporté l'arrêté du 8 octobre 1880, réglementant le service des tramways à traction de chevaux.

Sont également rapportés les arrêtés préfectoraux des 11 février et 1er juin 1882.

---

Digitized by Google

## ANNEXE N° 18

### DÉCRET DÉCLARANT D'UTILITÉ PUBLIQUE

# L'ÉTABLISSEMENT D'UNE LIGNE DE TRAMWAYS A TRACTION ÉLECTRIQUE

### ENTRE LA VILLE DE BELFORT, SES FAUBOURGS ET LA COMMUNE DE VALDOIE

LE PRÉSIDENT DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE,

Sur le rapport du ministre des Travaux Publics,

Vu l'avant-projet présenté pour l'établissement, dans le territoire de Belfort, d'une ligne de tramways, à traction électrique, destinée au transport des voyageurs entre la ville de Belfort, ses faubourgs et la commune de Valdoie ;

Vu, notamment, le plan d'ensemble de ladite ligne ;

Vu les pièces des enquêtes d'utilité publique ouvertes sur cet avant-projet, en exécution de l'article 29 de la loi du 11 juin 1880 et dans les formes déterminées par le règlement d'administration publique du 18 mai 1881 ;

Vu, notamment, les délibérations des commissions d'enquête, en date des 27 février et 15 juillet 1896 ;

Vu les délibérations du conseil général du territoire de Belfort, en date des 20 février, 11 juillet et 19 août 1896 ;

Vu la délibération de la commission mixte des travaux publics, en date du 15 mars 1897 ;

Vu les adhésions données, les 2 et 3 avril 1897, par les ministres de l'Intérieur et de la Guerre, aux conclusions prises par la commission mixte des travaux publics ;

Vu la convention passée, le 16 août 1897, entre le maire de Belfort, agissant au nom de la ville, et M. Schad (Christ), pour la rétrocession de l'entreprise, ainsi que le cahier des charges y annexé ;

Vu les avis du conseil général des ponts et chaussées, en date des 18 novembre 1895 et 18 janvier 1897 ;

Vu la lettre du ministre de l'Intérieur, en date du 9 juin 1897 ;

Vu la loi du 11 juin 1880 sur les chemins de fer d'intérêt local et les tramways ;

Vu la loi du 25 juin 1895, concernant l'établissement des conducteurs d'énergie électrique autres que les conducteurs télégraphiques et téléphoniques ;

Vu les règlements d'administration publique en date des 18 mai et 6 août 1881 ;

Le Conseil d'État entendu,

Digitized by Google

DÉCRÈTE :

ARTICLE PREMIER. — Est déclaré d'utilité publique l'établissement dans le territoire de Belfort, suivant les dispositions générales du plan ci-dessus visé, d'une ligne de tramways, à traction électrique, destinée au transport des voyageurs entre la ville de Belfort, ses faubourgs et la commune de Valdoie.

La présente déclaration d'utilité publique sera considérée comme nulle et non avenue si les expropriations nécessaires pour l'exécution dudit tramway ne sont pas accomplies dans le délai de deux ans à partir de la date du présent décret.

ART. 2. — La ville de Belfort est autorisée à pourvoir à la construction et à l'exploitation de la ligne de tramway dont il s'agit, suivant les dispositions de la loi du 11 juin 1880 et conformément aux clauses et conditions du cahier des charges ci-dessus visé.

ART. 3. — Est approuvée la convention passée, le 16 août 1897, entre le maire de Belfort, au nom de la ville, et M. Schad (Christ), pour la rétrocession du tramway susmentionné, conformément aux conditions du cahier des charges annexé à cette convention.

Ladite convention, ainsi que le cahier des charges et le plan d'ensemble ci-dessus visé, resteront annexés au présent décret.

ART. 4. — Le ministre des Travaux Publics est chargé de l'exécution du présent décret, qui sera inséré au *Bulletin des lois*.

Fait au Havre, le 16 septembre 1897.

FÉLIX FAURE.

Par le Président de la République :

*Le ministre des Travaux Publics,*

TURREL.

## CONVENTION

Entre M. Schneider (Charles), maire de la ville de Belfort, agissant au nom des habitants de ladite ville et spécialement autorisé par le conseil municipal, suivant la delibération en date du 12 août 1897,

D'une part ;

Et M. Schad (Christ), entrepreneur de travaux, demeurant à Belfort,

D'autre part,

Il a été convenu ce qui suit :

ARTICLE PREMIER. — La ville de Belfort rétrocède à M. Schad, qui accepte, l'établissement et l'exploitation des lignes de tramways définies à l'article 2 du cahier des charges, lequel restera annexé au présent traité.

ART. 2. — M. Schad est assujetti envers la ville de Belfort à toutes les obligations qui ont été imposées à celle-ci par le cahier des charges annexé au décret de concession, de même qu'il sera subrogé aux avantages résultant pour la ville de ce même cahier des charges.

Ce cahier des charges est conforme au cahier des charges type annexé au

Digitized by Google

décret du 6 août 1881, sauf modifications ou additions aux articles 3, 4, 5, 6, 10, 11, 12, 14, 15, 15 *bis*, 16, 17, 20, 23, 29 et 37, et suppression des articles 7, 24, 25, 26, 27, 30, 31, 32, 33, 34, 38 et 39.

ART. 3. — La ville de Belfort se réserve le droit de demander ou d'accorder de nouvelles concessions de tramways; mais il est expressément stipulé que M. Schad aura, à conditions égales, un droit de préférence pendant dix années à dater du décret déclaratif d'utilité publique. Un délai de trois mois lui sera accordé, après notification, pour formuler son acceptation ou son refus; passé ce délai, il sera forclos du droit de préférence.

ART. 4. — Dans le cas où la ville viendrait à modifier dans les voies empruntées son système actuel d'empierrement ou de pavage, tous les frais qui en résulteraient, y compris le déplacement de la voie, resteraient à sa charge pour ce premier établissement. Il est expressément stipulé que, si, pour l'exécution de ces travaux ou de tous autres concédés par la ville, il devenait nécessaire de procéder au déplacement des voies ferrées, la ville réemploierait les vieux matérieux sans pouvoir être astreinte à de nouvelles fournitures, excepté pour ce qui concerne les pavés.

ART. 5. — Les achats ou locations d'immeubles particuliers pour l'établissement des tramways, ainsi que les travaux de remaniement de bordures et chaussées devant permettre l'établissement de la voie ferrée, seront à la charge de M. Schad.

ART. 6. — La ville de Belfort remettra à M. Schad les subventions qui seraient accordées par le département en compensation de l'entretien, sur le chemin de grande communication n° 4, des zones affectées au service de la voie ferrée.

Elle s'engage à lui payer pour l'entretien des zones empruntées à la voie urbaine la somme annuelle de 400 fr.

ART. 7. — La ville concédera à M. Schad la location gratuite des surfaces occupées par les bureaux d'attente et de contrôle, quand lesdits bureaux seront établis sur des terrains de la voie urbaine ou appartenant à la ville, mais à la condition que les agencements auront été reconnus par l'administration municipale en rapport avec les exigences de la circulation et en concordance harmonique avec les dispositions architecturales ou de perspective des lieux environnants et avec faculté pour la ville d'en demander le déplacement en cas d'urgence.

Il ne sera dû à la ville aucun droit de stationnement ni redevance pour voitures en activité.

ART. 8. — Tous les engins, matériaux et appareils nécessaires à la construction des tramways et à leur exploitation pendant la durée de la concession seront de provenance française. Le directeur et tout le personnel employé à la construction ou à l'exploitation de la concession seront de nationalité française, sauf les cas exceptionnels, dont l'administration municipale restera seule juge.

ART. 9. — En cas d'infraction aux clauses du cahier des charges ou à celles

Digitized by Google

du traité de rétrocession pour les délais relatifs à la présentation des projets d'exécution et à l'exécution des travaux, la ville sera en droit d'imposer au rétrocessionnaire une amende qui pourra s'élever à 20 fr. par jour de retard, indépendamment des dommages et intérêts auquels le rétrocessionnaire pourrait être condamné envers les tiers, s'il y a lieu.

Le montant des amendes ainsi encourues sera arrêté par M. l'administrateur du territoire de Belfort, le rétrocessionnaire entendu.

ART. 10. — Dans un délai de six mois à dater de la promulgation du décret de concession, M. Schad devra constituer une société anonyme qui lui sera substituée comme rétrocessionnaire de la ligne. Cette substitution devra être approuvée par décret délibéré en Conseil d'État, conformément à l'article 10 de la loi du 4 juin 1880.

ART. 11. — Avant la signature de l'acte de concession, le rétrocessionnaire déposera à la Caisse des dépôts et consignations une somme de 10 000 fr. en numéraire ou en rente sur l'État calculée conformément au décret du 31 janvier 1872 ou en bons du Trésor, avec transfert, au profit de ladite caisse, de celles de ces valeurs qui seraient nominatives ou à ordre. Cette somme formera le cautionnement de l'entreprise. Les quatre cinquièmes en seront rendus au rétrocessionnaire par cinquième et proportionnellement à l'avancement des travaux. Le dernier cinquième ne sera remboursé qu'après l'expiration de la concession.

ART. 12. — Le rétrocessionnaire devra faire élection de domicile à Belfort. Dans le cas où il ne l'aurait pas fait, toute notification ou signification à lui adressée sera valable lorsqu'elle sera faite au secrétariat de la mairie de Belfort.

Fait à Belfort, en double expédition, ce 16 août 1897.

*Le maire de la ville de Belfort.*
Signé : SCHNEIDER.

*Le rétrocessionnaire,*
Signé : SCHAD.

## CAHIER DES CHARGES

### TITRE PREMIER

### TRACÉ ET CONSTRUCTION

*Objet de la concession.*

ARTICLE PREMIER. — Le réseau de tramways qui fait l'objet du présent cahier des charges est destiné au transport des voyageurs.

La traction aura lieu par moteur mécanique actionné par l'électricité.

*Tracé.*

ART. 2. — Ce réseau comprendra les lignes suivantes et empruntera les voies publiques ci-après désignées :

*Ligne n° 1.* — De la gare des voyageurs jusqu'à la place d'Armes située à l'in-

Digitized by Google

térieur de la ville, en passant par l'avenue de la Gare, le faubourg de France, la place de la Bascule, l'avenue Carnot et la rue de la Porte-de-France (route nationale n° 19 et rues communales), sur une longueur d'environ 1 100 mètres.

*Ligne n° 2.* — De la place de la Bascule, en un point de la ligne n° 1, jusqu'à la place des écoles communales de Valdoie, en passant par les faubourgs des Ancêtres et des Vosges (chemin de grande communication n° 4), sur une longueur d'environ 3 340 mètres.

*Délais d'exécution.*

ART. 3. — Les projets d'exécution seront présentés dans un délai de deux mois à partir de la date du décret déclaratif d'utilité publique.

Les travaux devront être commencés dans un délai d'un mois à partir de la date de l'approbation des projets. Ils seront poursuivis et terminés de telle façon que le réseau entier soit livré à l'exploitation quatre mois après la date du commencement des travaux.

*Largeur de la voie. — Gabarit du matériel roulant.*

ART. 4. — La largeur de la voie entre les bords intérieurs des rails devra être de 1 mètre.

La largeur du matériel roulant, y compris toutes saillies, notamment celle des marchepieds latéraux, ne dépassera pas 1,80 m. ; la hauteur du matériel roulant au-dessus des rails sera au plus de 3,20 m.

Dans les parties à deux voies, la largeur de l'entre-voie, mesurée entre les bords extérieurs des rails, sera réglée de manière qu'entre les parties les plus saillantes de deux voitures qui se croisent il y ait un intervalle d'au moins 50 centimètres.

*Alignements et courbes. — Pentes et rampes.*

ART. 5. — Les alignements seront raccordés entre eux par des courbes dont le rayon ne pourra être inférieur à 20 mètres. Le maximum des déclivités est fixé à celui des pentes des voies publiques à parcourir.

Les déclivités correspondant aux courbes de faible rayon devront être réduites autant que faire se pourra.

Le concessionnaire aura la faculté, dans des cas exceptionnels, de proposer aux dispositions du présent article les modifications qui lui paraîtraient utiles, mais ces modifications ne pourront être exécutées que moyennant l'approbation préalable de M. l'administrateur du territoire de Belfort.

*Établissement de la voie ferrée.*
*Parties accessibles aux voitures ordinaires.*

ART. 6. — Dans les sections où le tramway sera établi dans la chaussée, avec rails noyés, les voies de fer seront posées au niveau du sol, sans saillie ni dépression, suivant le profil normal de la voie publique, et sans aucune altération de ce profil, soit dans le sens tranversal, soit dans le sens longitudinal, à moins d'une autorisation spéciale de M. l'administrateur. Selon que la chaussée sera pavée ou empierrée, les rails seront compris dans un pavage

Digitized by Google

ou dans un empierrement de 20 centimètres d'épaisseur, qui régnera dans l'entre-rails et à 50 centimètres au moins de chaque côté, conformément aux dispositions prescrites par M. l'administrateur, sur la proposition du concessionnaire, qui restera chargé d'établir à ses frais ce pavage ou cet empierrement.

La chaussée de la voie publique sera d'ailleurs conservée ou établie avec des dimensions telles qu'en dehors de l'espace occupé par le matériel du tramway (toutes saillies comprises), il reste une largeur libre de chaussée d'au moins 2,60 m., permettant à une voiture ordinaire de se ranger pour laisser passer le matériel du tramway avec le jeu nécessaire.

Un intervalle libre d'au moins 1,10 m. de largeur sera réservé, d'autre part, entre le matériel de la voie ferrée (toutes saillies comprises) et la verticale de l'arête extérieure de la plate-forme de la voie publique.

ART. 7. — (Supprimé.)

*Traverses des villes et villages.*

ART. 8. — Dans les traverses des villes et des villages, les voies ferrées devront, à moins d'une autorisation spéciale de M. l'administrateur, être établies avec rails noyés dans la chaussée entre les deux trottoirs, ou du moins entre les deux zones à réserver pour l'établissement de trottoirs, et suivant le type décrit à l'article 6.

Le minimum des largeurs à réserver est fixé d'après les cotes suivantes :

*a*) Pour un trottoir, 1,10 m. ;

*b*) Entre le matériel de la voie ferrée (partie la plus saillante) et le bord d'un trottoir :

1° Quand on réserve le stationnement des voitures ordinaires, 2,60 m. ;

2° Quand on supprime ce stationnement, 30 centimètres.

*Exécution des travaux.*

ART. 9. — Le déchet résultant de la démolition et du rétablissement des chaussées sera couvert par des fournitures de matériaux neufs de la nature et de la qualité de ceux qui sont employés dans lesdites chaussées.

Pour le rétablissement des chaussées pavées au moment de la pose de la voie ferrée, il sera fourni, en outre, la quantité de boutisses nécessaire afin d'opérer ce rétablissement suivant les règles de l'art, en évitant l'emploi des demi-pavés.

Les vieux matériaux provenant des anciennes chaussées remaniées ou refaites à neuf qui n'auront pas trouvé leur emploi dans la réfection seront laissés à la libre disposition du concessionnaire.

Les fers, bois et autres éléments constitutifs des voies ferrées devront être de bonne qualité et propres à remplir leur destination.

*Voies.*

ART. 10. — Les voies devront être établies d'une manière solide et avec des matériaux de bonne qualité.

Les rails seront en acier.

Digitized by Google

Le type de ces rails ainsi que leur mode de support et d'entretoisement seront arrêtés par M. l'administrateur, sur la proposition du concessionnaire et l'avis des ingénieurs du contrôle.

Lorsque la traction aura lieu par l'électricité avec emprunt de la voie pour le retour du courant, celle-ci devra être établie dans des conditions de conductibilité telles que la différence de potentiel entre les deux extrémités de la voie ou de ses sections métalliques ne dépasse pas une valeur maxima déterminée par l'administration.

*Gares et stations.*

Art. 11. — Le nombre et l'emplacement des gares, stations et haltes seront arrêtés lors de l'approbation des projets définitifs. Il est toutefois entendu dès à présent qu'il sera établi des stations ou des haltes pour le service des voyageurs suivant les indications ci-après :

*Haltes avec abri.*

Au terminus de la ligne, à Valdoie.

*Haltes sans abri.*

1° A la gare des voyageurs à Belfort ;
2° Au faubourg de France, près de l'avenue du Lycée ;
3° Sur la place de la Bascule ;
4° Dans l'avenue Carnot, près des promenades ;
5° Sur la place d'Armes, à l'intérieur de la ville ;
6° Au faubourg des Ancêtres, près du temple protestant ;
7° Au faubourg des Vosges, près de la rue de Mulhouse ;
8° Au faubourg des Vosges, près de la distillerie franco-alsacienne ;
9° Au faubourg des Vosges, entre la rue de Châteaudun et la rue de Strasbourg ;
10° Au faubourg des Vosges, place du Marché ;
11° Au faubourg des Vosges, au bureau d'octroi ;
12° Au faubourg des Vosges, au chemin de Cravanche ;
13° Au faubourg des Vosges, près du chemin du Salbert ;
14° A l'entrée de Valdoie, près du restaurant Capron.

*Moyens de transbordement (clause spéciale prescrite par la circulaire du 12 janvier 1888).*

Le tramway ne se reliera à aucune ligne à voie normale.

## TITRE II

### ENTRETIEN ET EXPLOITATION

*Entretien.*

Art. 12. — Sur les sections où la voie ferrée est accessible aux voitures ordinaires (sections à rails noyés dans la chaussée), l'entretien qui est à la charge du concessionnaire comprend le pavage ou l'empierrement des entre-

Digitized by Google

rails et de l'entre-voie, ainsi que des zones de 50 centimètres qui servent d'accotements extérieurs aux rails.

*Réfection des parties de route ou de chemin atteintes par les travaux de la voie ferrée.*

ART. 13. — Lorsque, pour la construction ou la réparation de la voie ferrée, il sera nécessaire de démolir des parties pavées ou empierrées de la voie publique situées en dehors des zones ou de l'accotement indiqués ci-dessus, il devra être pourvu par le concessionnaire à l'entretien de ces parties pendant une année à dater de la réception provisoire des travaux de réfection ; il en sera de même pour tous les ouvrages souterrains.

*Nombre minimum des voyages.*

ART. 14. — Le nombre minimum des voyages qui devront être faits tous les jours, dans chaque sens, est fixé à cinquante pour la ville et à vingt-cinq pour le Valdoie.

Le service en été, du 1er mai au 30 septembre, commencera au plus tard à 6 heures du matin, pour finir au plus tôt à 8 heures du soir.

Le service en hiver, du 1er octobre au 30 avril, commencera au plus tard à 7 heures du matin, pour finir au plus tôt à 7 heures du soir.

*Limitation de la vitesse et de la longueur des trains.*

ART. 15. — Les trains se composeront de deux voitures au plus, et leur longueur totale ne dépassera pas 18 mètres.

La vitesse des trains en marche sera au plus de 20 kilomètres à l'heure, y compris les arrêts.

ART. 15 *bis*. — Le concessionnaire est tenu, pour l'exécution de ses projets, ainsi que pour l'exploitation de la ligne concédée, de se soumettre à l'accomplissement de toutes les formalités et de toutes les conditions exigées par les lois, décrets et règlements concernant les installations électriques.

## TITRE III

### DURÉE ET DÉCHÉANCE DE LA CONCESSION

*Durée de la concession.*

ART. 16. — La durée de la concession du réseau mentionné à l'article 2 du présent cahier des charges commencera à courir de la date du décret d'autorisation, et elle prendra fin cinquante ans après.

*Expiration de la concession.*

ART. 17. — A l'époque fixée pour l'expiration de la concession, et par le seul fait de cette expiration, l'État sera subrogé à tous les droits du concessionnaire sur la voie ferrée et ses dépendances, et il entrera immédiatement en jouissance de tous ses produits.

Le concessionnaire sera tenu de lui remettre en bon état d'entretien la voie

Digitized by Google

ferrée et tous les immeubles faisant partie du domaine public qui en dépendent. Il en sera de même de tous les objets immobiliers dépendant de ladite voie, tels que les barrières et clôtures, les changements de voies, plaques tournantes, réservoirs d'eau, grues hydrauliques, machines fixes, bureaux d'attente et de contrôle, les usines et installations de toute nature servant au transport de l'énergie électrique destinée à l'exploitation du tramway, etc.

Dans les cinq dernières années qui précéderont le terme de la concession, l'État aura le droit de saisir les revenus du tramway et de les employer à rétablir en bon état la voie ferrée et ses dépendences, si le concessionnaire ne se mettait pas en mesure de satisfaire pleinement et entièrement à cette obligation.

En ce qui concerne les objets mobiliers tels que le matériel roulant, le mobilier des stations, l'outillage des ateliers et des gares, l'État se réserve le droit de les reprendre en totalité ou pour telle partie qu'il jugera convenable, à dire d'experts, mais sans pouvoir y être contraint. La valeur des objets repris sera payée au concessionnaire dans les six mois qui suivront l'expiration de la concession et la remise du matériel à l'État.

L'État sera tenu, si le concessionnaire le requiert, de reprendre, en outre, les matériaux, combustibles et approvisionnements de tout genre sur l'estimation qui en sera faite à dire d'experts; et, réciproquement, si l'État le requiert, le concessionnaire sera tenu de céder ces approvisionnements de la même manière. Toutefois l'État ne pourra être obligé de reprendre que les approvisionnements nécessaires à l'exploitation du tramway pendant six mois.

Les dispositions qui précèdent ne sont applicables qu'au cas où le Gouvernement déciderait que les voies ferrées doivent être maintenues en tout ou en partie.

*Remise des lieux dans l'état primitif.*

ART. 18. — Dans le cas où le Gouvernement déciderait, au contraire, que les voies ferrées doivent être supprimés en tout ou en partie, ces voies seront enlevées, et les lieux seront remis dans l'état primitif par les soins et aux frais du concessionnaire, sans qu'il puisse prétendre à aucune indemnité.

*Rachat de la concession.*

ART. 19. — L'État aura toujours droit de racheter la concession.

Si le rachat a lieu avant l'expiration des quinze premières années de l'exploitation, il se fera conformément au paragraphe 3 de l'article 11 de la loi du 11 juin 1880.

Ce terme de quinze ans sera compté à partir de la mise en exploitation effective du réseau entier, ou au plus tard à partir de la fin du délai qui est fixé dans l'article 3 du présent cahier des charges, sans tenir compte des retards qui auraient eu lieu dans l'achèvement des travaux.

Si le rachat de la concession entière est réclamé par l'État après l'expiration des quinze premières années de l'exploitation, on réglera le prix du rachat en relevant les produits nets annuels obtenus par le concessionnaire pendant les sept années qui auront précédé celle où le rachat sera effectué, et en y comprenant les annuités qui auront été payées à titre de subvention; on en



Digitized by Google

déduira les produits nets des deux plus faibles années, et l'on établira le produit net moyen des cinq autres années.

Ce produit net moyen formera le montant d'une annuité qui sera due et payée au concessionnaire pendant chacune des années restant à courir sur la durée de la concession.

Dans aucun cas, le montant de l'annuité ne sera inférieur au produit net de la dernière des sept années prises pour terme de comparaison.

Le concessionnaire recevra, en outre, dans les six mois qui suivront le rachat, les remboursements auxquels il aurait droit à l'expiration de la concession, suivant le quatrième et le cinquième paragraphe de l'article 17, la reprise de la totalité des objets mobiliers étant ici obligatoire dans tous les cas pour l'État.

Le concessionnaire ne pourra élever aucune réclamation dans le cas où, par suite d'un changement dans le classement des routes et chemins empruntés par la voie ferrée, une nouvelle autorité serait substituée à celle de qui émane la concession.

La nouvelle autorité aura les mêmes droits que celle qui a fait la concession.

*Déchéance.*

Art. 20. — Si le concessionnaire n'a pas remis à M. l'administrateur tous les projets définitifs, ou s'il n'a pas commencé les travaux dans les délais fixés par l'article 3, il encourra la déchéance, qui, après mise en demeure, sera prononcée par le ministre des Travaux Publics, sauf recours au Conseil d'État par la voie contentieuse.

Dans ces deux cas, la somme qui aura été déposée, à titre de cautionnement, deviendra la propriété de l'État et lui restera acquise.

*Achèvement des travaux en cas de déchéance.*

Art. 21. — Faute par le concessionnaire d'avoir poursuivi et terminé les travaux dans les délais et conditions fixés par l'article 3, faute aussi par lui d'avoir rempli les diverses obligations qui lui sont imposées par le règlement d'administration publique du 6 août 1881, ainsi que par le présent cahier des charges, et dans le cas prévu par l'article 10 de la loi du 11 juin 1880, il encourra soit la perte partielle de son cautionnement dans les conditions qui seraient prévues par l'acte de concession, soit la perte totale de ce cautionnement, soit la déchéance. Dans tous les cas, il sera statué par le ministre des Travaux Publics, après mise en demeure, sauf recours au Conseil d'État par la voie contentieuse. Dans les deux premiers cas, le cautionnement devra être reconstitué dans le mois de la décision ministérielle.

En cas de déchéance, il sera pourvu tant à la continuation et à l'achèvement des travaux qu'à l'exécution des autres engagements contractés par le concessionnaire, conformément à l'article 41 du règlement d'administration publique du 6 août 1881.

*Cas de force majeure.*

Art. 22. — Les dispositions des deux articles qui précèdent ne seraient pas applicables, et la déchéance ne serait pas encourue, dans le cas où le conces-

Digitized by Google

sionnaire n'aurait pu remplir ses obligations par suite de circonstances de force majeure dûment constatées.

## TITRE IV

### TAXES ET CONDITIONS RELATIVES AU TRANSPORT DES VOYAGEURS ET DES MARCHANDISES

*Tarif des droits à percevoir.*

ART. 23. — Pour indemniser le concessionnaire des travaux et dépenses qu'il s'engage à faire par le présent cahier des charges, et sous la condition expresse qu'il en remplira exactement toutes les obligations, il est autorisé à percevoir, pendant toute la durée de la concession, les droits de péage et les prix de transport ci-après déterminés :

**Prix de transport par voyageur.**

(A). — *Ville et faubourgs.*

1° Sur une seule ligne : entre la gare et la ville ou entre la place de la Bascule et la rue du Salbert, et vice versa, quel que soit le parcours, 10 centimes.

2° Sur les deux lignes : c'est-à-dire de la gare ou de la ville à la rue du Salbert, et vice versa, quel que soit le point de départ ou d'arrêt entre la gare ou la ville et la place de la Bascule, 15 centimes.

(B). — *Belfort-Valdoie.*

3° Sur la ligne n° 2 : entre la place de la Bascule et Valdoie, et vice versa, quel que soit le point de départ ou d'arrêt entre la place de la Bascule et l'avenue d'Alsace, 20 centimes.

4° Sur la ligne n° 2 : entre l'avenue d'Alsace et Valdoie, et vice versa, quel que soit le parcours, 10 centimes.

5° Sur les deux lignes : c'est-à-dire de la gare ou de la ville à Valdoie, et vice versa, quel que soit le point de départ ou d'arrêt entre la gare ou la ville et la place de la Bascule, 25 centimes.

Les enfants au-dessous de quatre ans seront transportés gratuitement s'ils sont tenus sur les genoux de leurs parents.

Les voyageurs auront la liberté de conserver les paquets ou colis peu encombrants susceptibles d'être tenus sur les genoux et dont le poids n'excédera pas 15 kilogrammes.

ART. 24, 25, 26 et 27. — (Supprimés.)

*Abaissement des tarifs.*

ART. 28. — Dans le cas où le concessionnaire jugerait convenable, soit pour le parcours total, soit pour les parcours partiels de la voie de fer, d'abaisser, avec ou sans conditions, au-dessous des limites déterminées par le tarif les taxes qu'il est autorisé à percevoir, les taxes abaissées ne pourront être rele-

Digitized by Google

vées qu'après un délai de trois mois au moins pour les voyageurs et d'un an pour les marchandises.

Toute modification de tarif proposée par le concessionnaire sera annoncée un mois d'avance par des affiches.

La perception des tarifs modifiés ne pourra avoir lieu qu'avec l'homologation du ministre des Travaux Publics, conformément aux dispositions de la loi du 11 juin 1880.

La perception des taxes devra se faire indistinctement et sans aucune faveur.

Tout traité particulier qui aura pour effet d'accorder à un ou plusieurs expéditeurs une réduction sur les tarifs approuvés demeure formellement interdit.

Toutefois, cette disposition n'est pas applicable aux traités qui pourraient intervenir entre le Gouvernement et le concessionnaire dans l'intérêt des services publics, ni aux réductions ou remises qui seraient accordées par le concessionnaire aux indigents.

En cas d'abaisssement des tarifs, la réduction portera proportionnellement sur le péage et sur le transport.

*Délais d'expéditions.*

ART. 29. — Le concessionnaire sera tenu d'effectuer constamment avec soin, exactitude et célérité, et sans tour de faveur, le transport des voyageurs.

ART. 30, 31, 32, 33 et 34. — (Supprimés.)

## TITRE V

### STIPULATIONS RELATIVES A DIVERS SERVICES PUBLICS

*Fonctionnaires ou agents du contrôle.*

ART. 35. — Les fonctionnaires ou agents chargés de l'inspection, du contrôle et de la surveillance de la voie ferrée seront transportés gratuitement dans les voitures de voyageurs.

*Service des postes.*

ART. 36. — Le concessionnaire sera tenu de recevoir dans ses voitures, aux heures des départs réguliers, les sacs de dépêches de la postes escortés ou non d'un convoyeur. Les sacs seront déposés dans un coffre fermant à clef. Le convoyeur aura droit à une place réservée aussi près que possible de ce coffre.

L'administration des postes aura, en outre, le droit de fixer aux voitures de l'entreprise une boîte aux lettres, dont elle fera opérer la pose et la levée par ses agents.

Les prix des transports ci-dessus seront payés par l'administration des postes conformément aux tarifs homologués, sauf dans le cas où l'État se serait engagé à fournir au concessionnaire une subvention par annuités. Dans ce cas, les sacs de dépêches et le convoyeur devront être transportés gratuitement.

Le concessionnaire pourra être tenu de fixer d'après les convenances du service des postes l'heure d'un de ses départs dans chaque sens.

Digitized by Google

Le montant des dépenses supplémentaires de toute nature que ce service spécial aura imposées au concessionnaire, déduction faite du produit qu'il aura pu en retirer, lui sera payé par l'administration des postes, que l'entreprise soit subventionnée ou non par le Trésor, suivant le règlement qui en sera fait de gré à gré, ou par deux arbitres. En cas de désaccord de ces arbitres, un tiers arbitre sera désigné par le Conseil de préfecture.

## TITRE VI

### CLAUSES DIVERSES

*Frais de contrôle.*

ART. 37. — La somme que le concessionnaire doit verser chaque année à la date du 1er janvier, afin de pourvoir aux frais du contrôle, sera calculée d'après le chiffre de 50 fr. par kilomètre de voie concédée, toute fraction au-dessus de 500 mètres étant comptée pour 1 kilomètre.

Le premier versement aura lieu trois mois après le décret d'utilité publique à la caisse du trésorier-payeur général du Haut-Rhin.

ART. 38 et 39. — (Supprimés.)

ART. 40. — Les contestations qui s'élèveraient entre le concessionnaire et l'administration au sujet de l'exécution et de l'interprétation des clauses du présent cahier des charges seront jugées administrativement par le Conseil de préfecture du département du Haut-Rhin, sauf recours au Conseil d'État.

*Frais d'enregistrement.*

ART. 41. — Les frais d'enregistrement du présent cahier des charges et de la convention ci-annexée seront supportés par le concessionnaire.

Accepté.
A Belfort, le 16 août 1897.

*Le maire,*
Signé : SCHNEIDER.

*Le rétrocessionnaire,*
Signé : SCHAD.

---

Digitized by Google

## ANNEXE N° 19

### PROJET DE LOI

SUR LES

# DISTRIBUTIONS D'ÉNERGIE[1]

ARTICLE PREMIER. — Les entreprises ayant pour objet le transport de l'énergie en vue d'en faire la distribution au public au moyen d'ouvrages fixes sont soumises, pour leur établissement et leur fonctionnement, aux conditions de la présente loi.

ART. 2. — L'autorité compétente pour autoriser l'occupation d'une voie publique par les ouvrages d'une distribution d'énergie peut se refuser à délivrer une simple permission de voirie, et subordonner l'occupation à une concession avec cahier des charges et tarif maximum.

La décision ainsi prise par le maire pour les voies publiques placées dans ses attributions peut être annulée, et la permission de voirie accordée par le préfet dans les conditions prévues par l'article 98 de la loi du 5 avril 1884.

ART. 3. — La concession d'une distribution publique d'énergie est donnée, après enquête, par la commune si la distribution publique d'énergie ne dessert que son territoire, par l'État dans tous les autres cas.

Toute concession est soumise aux clauses d'un cahier des charges conforme à l'un des types approuvés par décret délibéré en Conseil d'État, sauf les dérogations ou modifications qui seraient expressément formulées dans les conventions passées au sujet de ladite concession.

ART. 4. — Lorsque la concession est de la compétence de l'État, l'acte de concession est passé définitivement par le préfet, si la distribution d'énergie ne dessert que le territoire du département, ou par le ministre des Travaux Publics, après avis du ministre de l'Intérieur, si elle dessert plusieurs départements.

Lorsque la concession est de la compétence de la commune, l'acte de concession passé par le maire, en exécution d'une délibération du Conseil municipal, est approuvé par le préfet.

Toutefois, si l'acte de concession passé par le ministre, le préfet ou le maire comporte des dérogations ou modifications au cahier des charges type, il ne devient définitif qu'après avoir été approuvé par un décret délibéré en Conseil d'État.

Annexe au procès-verbal de la séance de la Chambre des députés du 8 février 1898.

Digitized by Google

Art. 5. — Aucune concession ne peut faire obstacle à ce qu'il soit accordé des permissions ou concessions concurrentes.

Toutefois, au cas de déclaration d'utilité publique des travaux, l'autorité concédante peut s'interdire de donner des concessions ou des permissions de voirie pour des distributions de même nature, pendant une durée ne pouvant excéder quinze ans à partir de l'expiration du délai fixé pour le commencement de la mise en exploitation.

L'acte de concession ne peut imposer au concessionnaire aucune charge pécuniaire autre que les redevances prévues à l'article 11, ni attribuer à l'État ou à la commune des avantages particuliers autres que les prix réduits d'abonnement qui seraient accordés aux services publics.

Art. 6. — L'exécution des ouvrages destinés au transport et à la distribution de l'énergie peut être déclarée d'utilité publique, après enquête, par décret délibéré en Conseil d'État, sur le rapport des ministres des Travaux Publics et de l'Intérieur.

Art. 7. — La déclaration d'utilité publique d'un transport d'énergie confère au concessionnaire, dans les conditions spécifiées par les règlements d'administration publique prévus à l'article 11 et par le cahier des charges de la concession, le droit :

1° D'établir à demeure des supports pour conducteurs aériens d'énergie, soit à l'extérieur des murs ou façades donnant sur la voie publique, de manière que les conducteurs soient toujours placés au-dessus des fenêtres les plus élevées et hors de la portée des habitants, soit sur les toits et terrasses des bâtiments, à la condition qu'on puisse y accéder par l'extérieur ;

2° De faire passer des conducteurs d'énergie au-dessus des propriétés privées, à la condition qu'ils soient hors de portée ;

3° D'établir à demeure des canalisations souterraines ou des supports pour conducteurs aériens sur les terrains privés non bâtis qui ne sont pas fermés de murs ou autres clôtures équivalentes.

Art. 8. — L'exécution des travaux prévus à l'article 7 doit être précédée d'une notification directe aux intéressés et d'une enquête spéciale dans chaque commune. Elle ne peut avoir lieu qu'après approbation des projets de détail du tracé par le préfet.

Elle n'entraine aucune dépossession. La pose d'appuis sur les murs ou façades ou sur les toits ou terrasses des bâtiments ne peut faire obstacle au droit du propriétaire de démolir, réparer ou surélever. La pose de canalisations ou de supports dans un terrain ouvert et non bâti ne fait pas non plus obstacle au droit du propriétaire de se clore ou de bâtir.

Mais le propriétaire devra, un mois avant d'entreprendre les travaux de démolition, réparation, surélévation, clôture de bâtiments, prévenir le concessionnaire par lettre recommandée avec accusé de réception, adressée au domicile élu par ledit concessionnaire.

Art. 9. — Les indemnités qui pourraient être dues soit à raison des occupations et travaux prévus à l'article 7, soit à raison des occupations temporaires de terrains que le concessionnaire serait autorisé à pratiquer par application de la loi du 29 décembre 1892, ou des dommages quelconques causés par

Digitized by Google

l'exécution d'ouvrages déclarés d'utilité publique en vertu de la présente loi, sont réglées par le Conseil de préfecture, sauf recours au Conseil d'État.

Art. 10. — Lorsque pour l'établissement des ouvrages déclarés d'utilité publique il y a lieu à expropriation, elle est prononcée et les indemnités sont réglées conformément à la loi du 3 mai 1841.

Art. 11. — Des règlements d'administration publique, rendus sur le rapport des ministres des Travaux Publics et de l'Intérieur, détermineront :

1° La forme des enquêtes prévues aux articles 3, 6 et 8 ;

2° Les formes de l'instruction des projets et de leur approbation par l'autorité concédante, sans préjudice, quand il s'agit d'énergie électrique, de l'approbation des projets par le ministre des Postes et des Télégraphes ou son délégué, au point de vue de la protection des transmissions télégraphiques et téléphoniques, en vertu de l'article 5 de la loi du 25 juin 1895, les formes de l'homologation des tarifs par l'autorité concédante, et l'organisation du contrôle, dont les frais seront à la charge du concessionnaire ;

3° Les conditions générales et d'intérêt public auxquelles les ouvrages servant au transport ou à la distribution de l'énergie, soit en vertu de concessions, soit en vertu de simples permissions de voirie, devront satisfaire tant pour leur construction que pour leur fonctionnement ;

4° Les mesures relatives à la police et à la sécurité de l'exploitation des transports et distributions d'énergie ;

5° Les tarifs des redevances dues à l'État, aux départements et aux communes en raison de l'occupation du domaine public par les ouvrages des entreprises concédées ;

6° Et en général toutes les mesures nécessaires à l'exécution de la présente loi.

Les règlements visés par les paragraphes 3° et 4° ci-dessus seront pris sur l'avis technique du Comité d'Électricité institué par l'article 6 de loi du 25 juin 1895.

Art. 12. — Lorsque le concessionnaire d'une distribution d'énergie contreviendra aux clauses du cahier des charges ou aux décisions rendues en exécution de ces clauses, en ce qui concerne le service de la navigation ou des chemins de fer ou tramways, la viabilité des voies nationales, départementales ou communales, ou le libre écoulement des eaux, procès-verbal sera dressé de la contravention par les agents du service intéressé dûment assermentés.

Ces contraventions seront poursuivies et jugées comme en matière de grande voirie et punies d'une amende de 16 à 300 fr., sans préjudice de la réparation du dommage causé.

L'administration pourra d'ailleurs prendre immédiatement toutes les mesures provisoires pour faire cesser le dommage comme il est procédé en matière de voirie. Les frais qu'entraînera l'exécution de ces mesures seront recouvrés contre le concessionnaire comme en matière de contributions directes.

Art. 13. — Toute infraction aux dispositions édictées dans l'intérêt de la sécurité des personnes, soit par les règlements d'administration publique, soit par les arrêtés du ministre des Travaux Publics ou des préfets, pris dour l'exé-

Digitized by Google

cution desdits règlements, sera poursuivie devant les tribunaux correctionnels et punie d'une amende de 16 à 3 000 fr., sans préjudice de l'application des pénalités prévues au Code pénal en cas d'accident résultant de l'infraction.

ART. 14. — Les délits et contraventions pourront être constatés par des procès-verbaux dressés par les officiers de police judiciaire, les ingénieurs et agents des ponts et chaussées et des mines, les agents voyers, les agents municipaux chargés de la surveillance ou du contrôle, et les gardes particuliers du concessionnaire agréés par l'administration et dûment assermentés.

Ces procès-verbaux feront foi jusqu'à preuve du contraire.

Ils seront visés pour timbre et enregistrées en débet.

Ceux qui auront été dressés par des gardes assermentés devront être affirmés dans les trois jours, à peine de nullité, devant le juge de paix ou le maire, soit du lieu du délit ou de la contravention, soit de la résidence de l'agent.

ART. 15. — La déclaration d'utilité publique d'un chemin de fer, d'un tramway, d'une voie navigable ou en général d'un travail public confère à l'administration ou au concessionnaire, pour l'établissement et le fonctionnement des conducteurs d'énergie employés à l'exploitation de ces ouvrages, les droits de passage et d'appui spécifiés aux articles 7 et 8 ci-dessus, avec application des dispositions des articles 9 et 10 et des dispositions spéciales édictées à cet effet par les règlements d'administration publique prévus à l'article 11, même dans le cas où l'énergie serait fournie à ces conducteurs par une usine privée ou par une entreprise de distribution publique d'énergie non déclarée d'utilité publique.

Toutefois, par dérogation au paragraphe 1° de l'article 7, les conducteurs aériens en contact avec les organes de prise de courant des véhicules, et leurs jonctions avec les conducteurs d'alimentation ne sont pas assujettis à être placés au-dessus des fenêtres les plus élevées des habitations.

ART. 16. — Sont abrogées toutes dispositions de lois ou règlements contraires à celles de la présente loi.

---

Digitized by Google

# ANNEXE N° 20

## ARRÊTÉ DU MAIRE DE LA VILLE DE RICHMOND (VIRGINIE)

POUR PRÉVENIR

## LA DÉGRADATION PAR L'ÉLECTROLYSE DES CONDUITES D'EAU ET DE GAZ [1]

LE MAIRE DE LA VILLE DE RICHMOND,

ARRÊTE :

1° Toute Compagnie de tramways qui possède ou possédera dans la ville de Richmond une concession régulière devra se conformer strictement aux règles et obligations ci-après, qui modifient ou complètent les arrêtés existants concernant l'emploi de l'électricité comme puissance motrice sur les voies publiques de cette ville.

Toute voie de tramway électrique devra avoir ses rails soit soudés électriquement, soit connectés entre eux aux joints conformément aux prescriptions suivantes : pour des rails pesant de 10 à 60 lbs par yard (5 à 30 kg. par m. courant), on emploiera à chaque joint un fil de cuivre n° 0000 B. W. G. (11,5 mm. de diamètre) ; pour des rails pesant de 60 à 90 lbs par yard (30 à 45 kg. par m. courant) on emploiera à chaque joint deux fils semblables. L'assemblage de chaque fil de cuivre avec le rail se fera dans un trou soigneusement percé au calibre ; l'extrémité du fil sera filetée pour permettre d'y ajuster un écrou en cuivre ou une rondelle en cuivre et un écrou en fer, et la surface adjacente du rail sera dressée de manière à assurer un contact parfait lorsque l'écrou sera serré. Les surfaces en contact devront avoir été préalablement nettoyées à vif, et l'extrémité du fil de cuivre sera renflée de manière que sa surface de contact avec le fer à l'intérieur du trou et sur les faces du rail ne soit pas inférieure à dix fois la section normale dudit fil ; il devra être suffisamment serré dans le trou pour que le joint soit bien étanche. Aussitôt après son exécution, cette connexion sera complètement recouverte d'une peinture isolante au point de vue électrique, de première qualité.

2° Tous les trois rails, la voie sera interconnectée à l'aide d'un fil de cuivre n° 0 B.S. (8,1 mm. de diamètre) enroulé autour des fils de joint, puis soudé. Dans les lignes à double voie, on connectera de même entre elles les deux voies.

3° En outre, un fil supplémentaire continu sera placé en terre dans l'axe de chaque voie et connecté à chaque rail au moins tous les 300 pieds (90 m.) ; il

[1] Les auteurs ne sont pas responsables du style de cet arrêté, qu'ils se sont cependant efforcés d'éclaircir en traduisant le galimatias original.

Digitized by Google

s'étendra sur toute la longueur de la ligne à partir de la station centrale, où il sera relié à la borne négative des génératrices. La section de ce fil sera égale à celle de tous les autres fils d'alimention nécessaires pour fournir le courant sur cette section de ligne en tenant compte des fils de jonction. On n'emploiera aucun fil de diamètre plus faible que le n° 0 B.S. (8,1 mm. de diamètre). Dans tous les cas, les rails devront être reliés au pôle négatif des génératrices.

4° Quand le retour du courant se fera par la voie ou par les rails, on devra pourvoir à ce retour en établissant et entretenant en bon état un conducteur formé de vieux rails connectés au moyen des fils de cuivre, ou un feeder métallique équivalent, de section suffisante et convenablement installé. Le courant ne pourra sous aucun prétexte être mis à la terre par l'intermédiaire de fils ou de barres de métal en des points voisins des conduites d'eau ou de gaz ou de leurs branchements. Toutes les fois qu'un ampèremètre ou un voltmètre permettra de déceler l'existence d'un courant électrique allant des conduites d'eau ou de gaz aux rails par ces conduites, ce fait sera considéré comme une preuve suffisante que ledit courant est susceptible de causer la corrosion électrolytique de ces conduites, et, sur la demande du directeur du service du gaz ou du service des eaux ou de leurs représentants autorisés, sitôt cette dérivation constatée, la Compagnie de tramways devra prendre les mesures nécessaires pour empêcher le courant électrique d'atteindre la canalisation. Pour chaque jour de retard que la Compagnie apportera, après avoir reçu avis de cet avertissement, à la suppression de la dérivation, elle devra payer une amende qui ne sera pas inférieure à 25 dollars ni supérieure à 500 dollars, chaque retard d'un jour étant considéré comme constituant une infraction nouvelle.

Toute Compagnie possédant un tramway électrique déjà construit sera tenue, dans le délai d'un mois à partir de l'approbation du présent arrêté, de prendre des mesures pour se conformer aux règles et obligations énoncées dans les quatre premiers paragraphes ; elle devra, dans les six mois, avoir satisfait entièrement aux règles prescrites, à moins qu'il soit démontré aux directeurs des services du gaz et des eaux, par des expériences concluantes, que la méthode de jonction des rails employée par cette Compagnie est suffisante pour empêcher qu'aucun courant ne passe dans les conduites ou le long d'elles, auquel cas ladite Compagnie sera dispensée de se conformer aux prescriptions ci-dessus relatives au jointage des rails. Toute infraction aux règles édictées par le présent paragraphe sera punie d'une amende qui ne sera pas inférieure à 25 dollars ni supérieure à 500 dollars, chaque retard d'un jour étant considéré comme constituant une infraction nouvelle.

5° Les Compagnies employant le système à double trôlet ou tout autre système qui évite le retour par la terre ne sont pas soumises aux obligations précédentes.

6° Tous les travaux nécessaires devront être exécutés selon les règles de l'art et par des ouvriers expérimentés. Avant tout commencement d'exécution, le directeur du tramway devra soumettre au directeur du service des eaux des échantillons de tous les matériaux et appareils qu'il se propose d'employer. Si celui-ci les agrée, il accordera immédiatement l'autorisation de commencer les travaux. Les directeurs des services des eaux et du gaz pourront inspecter à tout moment ces travaux et, s'ils ne les jugent pas convenablement exécutés,

Digitized by Google

ils auront l'un ou l'autre le droit de les arrêter jusqu'à ce que toutes les conditions prescrites par le présent arrêté aient été remplies.

Toute Compagnie qui causerait un dommage quelconque à des conduites d'eau ou de gaz ou à leurs branchements, par corrosion électrique ou électrolyse, en sera responsable et devra payer à la ville de Richmond, par l'intermédiaire du receveur municipal, tous les frais occasionnés par la réparation ou le remplacement desdites conduites. Les mémoires de frais de réparation ou de remplacement seront présentés à la Compagnie par le directeur (ou son représentant autorisé) du service qui aura exécuté le travail et, s'ils ne sont pas payés dans les 30 jours de la présentation, ils seront remis entre les mains de l'attorney de la ville, qui en poursuivra le recouvrement par les voies légales.

---

Digitized by Google

## ANNEXE N° 21

# RÈGLEMENT DU « BOARD OF TRADE »

DU 6 MARS 1894

*Pris en exécution de l'Acte de concession des Tramways de..... pour réglementer l'usage des retours isolés ou des retours métalliques non isolés de faible résistance, pour prévenir la fusion ou la dégradation par électrolyse des conduites de gaz, d'eau ou de tous autres conduites, ouvrages ou masses métalliques, et pour réduire au minimum qu'on peut raisonnablement attendre en pratique les troubles occasionnés aux lignes, fils et appareils électriques autres que ceux du concessionnaire et aux courants circulant dans ces lignes, qu'elles emploient ou non le retour par la terre.*

**Définitions.** — Dans ce qui suit, l'expression « énergie » signifie énergie électrique ; « générateur » signifie la ou les dynamos ou autres appareils électriques employés pour la génération de l'énergie ; « moteur » signifie tout moteur électrique monté sur une voiture et employé pour la transformation de l'énergie ; « conduite » signifie toute conduite de gaz ou d'eau ou tout autre conduite, ouvrage ou masse métallique ; « fil » signifie tout fil ou appareil employé pour la télégraphie, la téléphonie, les signaux électriques ou autre usage analogue ; « courant » signifie un courant électrique dépassant un milliampère ; « la Compagnie » a la même signification que dans l'Acte de concession de...

## RÈGLEMENT

1. — Toute dynamo employée comme générateur sera d'un modèle et d'une construction tels qu'elle donne un courant continu sans pulsations appréciables[1].

2. — L'un des deux conducteurs employés pour transmettre l'énergie du générateur aux moteurs sera dans tous les cas isolé de la terre sur toute sa longueur et sera, dans ce qui suit, appelé « ligne » ; l'autre peut être isolé sur toute sa longueur ou ne pas l'être dans telle partie et jusqu'à tel point qui sera indiqué dans les prescriptions ci-après, et sera dorénavant appelé « retour ».

3. — Lorsque des rails servant au roulement des voitures, ou des conducteurs quelconques posés entre ces rails ou à une distance moindre que 3 pieds (0,914 m.), forment partie du retour, ils peuvent ne pas être isolés; toutes les autres parties du retour seront isolées, à moins que leur section ne soit

[1] Cette règle, excellente théoriquement, est pratiquement illusoire pour le courant continu, car les constructeurs donnent déjà le plus grand nombre de touches possible à leurs collecteurs dans l'intérêt du bon fonctionnement des génératrices ; elle n'a d'intérêt qu'en ce qu'elle proscrit les courants alternatifs.

Digitized by Google

suffisante pour réduire la différence de potentiel entre les extrémités de la partie non isolée au-dessous de la limite prescrite à l'article 7.

4. — Tout conducteur non isolé posé entre les rails ou à moins de 3 pieds (0,914 m.) de distance et formant partie du retour sera relié électriquement aux rails à intervalles d'au plus 100 pieds (30,50 m.) par des bandes de cuivre ayant au moins 1/16 de pouce carré (40,30 mm²) de section ou par tout autre procédé donnant une égale conductibilité.

5. — Toute partie non isolée du retour devra être reliée à la borne négative du générateur, et cette borne devra en même temps être reliée directement, à travers l'indicateur de courant mentionné ci-après, à deux prises de terre différentes placées à 20 yards (18, 29 m.) au moins l'une de l'autre.

Toutefois, au lieu de cette double connexion à la terre, la Compagnie pourra établir une liaison électrique avec une conduite d'eau d'au moins 3 pouces (76 mm.) de diamètre intérieur, avec le consentement du propriétaire de cette conduite et de la personne fournissant l'eau, à condition qu'elle puisse prouver à la satisfaction d'un inspecteur du Board of Trade que, par suite de la nature du sol ou de toute autre cause, les prises de terre mentionnées ci-dessus ne pourraient être établies et entretenues sans dépenses exagérées.

Les prises de terre en question seront construites, posées et entretenues de façon à assurer le contact électrique avec la masse générale de la terre, et de manière qu'une force électromotrice ne dépassant pas 4 volts suffise pour produire un courant d'au moins 2 ampères d'une prise vers l'autre à travers la terre ; un essai sera fait au moins une fois par mois pour s'assurer que cette condition est remplie.

Aucune prise de terre ne pourra être placée à moins de 6 pieds (1, 83 m.) d'une conduite autre que des conduites d'eau d'au moins 3 pouces (76 mm.) de diamètre intérieur reliées métalliquement à cette prise de terre ainsi qu'il est spécifié ci-dessus [1].

6. — Si le retour n'est pas isolé en totalité ou en partie, la Compagnie devra, dans la construction et l'entretien du tramway, *a*) séparer les parties non isolées du retour de la masse générale de la terre et de toutes les conduites du voisinage, *b*) connecter ensemble les rails, *c*) adopter des moyens propres à réduire la différence de potentiel produite par le courant entre deux points quelconques du retour non isolé, *d*) maintenir l'efficacité des prises de terre spécifiées à l'article précédent, de façon à remplir les conditions suivantes, savoir :

I. Le courant passant des prises de terre au générateur à travers l'indicateur ne dépassera jamais deux ampères par mile (1 609 m.) de voie simple, ni 5 p. 100 du débit total de la station ;

II. Si l'on fait en un point et à une époque quelconques un essai en branchant un galvanomètre ou un autre indicateur de courant entre le retour non isolé et une conduite du voisinage, il devra toujours être possible de renverser le courant trouvé en interposant une batterie de 3 éléments Leclanché

[1] Comme nous l'avons dit plus haut, les indications données par les plaques de terre sont illusoires. Il en est de même de la règle de la dérivation de 5 p. 100 de l'article 6, I ; c'est pourquoi l'usage ne nous en paraît pas recommandable en France.

Digitized by Google

montés en série, si ce courant va du retour à la conduite, ou un seul élément, si ce courant va de la conduite au retour.

Afin de fournir une vérification continuelle de l'observation de la condition (1), la Compagnie placera dans un endroit apparent un indicateur de courant convenable, bien connecté et étalonné, qui sera maintenu en circuit tout le temps que la ligne sera en charge.

Les propriétaires de conduites intéressés pourront exiger que la Compagnie leur permette, en temps et à intervalles raisonnables, de s'assurer par des essais que les conditions spécifiées en (II) sont remplies en ce qui concerne leurs conduites.

7. — Dans le cas où le retour n'est pas isolé en partie ou en totalité, la Compagnie devra enregistrer d'une façon continue les différences de potentiel pendant la marche du tramway entre les deux points du retour non isolé le plus éloigné et le plus rapproché de la station génératrice. Si, à un moment quelconque, cette différence de potentiel dépasse sept volts, la Compagnie devra immédiatement prendre les mesures nécessaires pour la ramener au-dessous de cette limite.

8. — Toute connexion avec une conduite devra être établie de manière qu'elle puisse être facilement visitée, et elle sera essayée par la Compagnie au moins une fois tous les trois mois.

9. — Toute ligne et tout retour ou partie de retour isolé, à l'exception des feeders, devront être construits en sections de longueur ne dépassant pas 1/2 mile (804,50 m.), et l'on devra pouvoir isoler chacune de ces sections pour en faire l'essai.

10. — L'isolement de la ligne et du retour, lorsque celui-ci sera isolé, ainsi que celui de tous les feeders et autres conducteurs, devra toujours être tel que le courant de perte ne dépasse pas 1/100 d'ampère par mile (1609 m.) de tramway. La perte sera constatée quotidiennement avant ou après les heures de marche, la ligne étant en pleine charge. Si, à un moment quelconque, le courant de perte venait à dépasser 1/2 ampère par mile, le défaut devrait être localisé et réparé aussitôt que possible ; la marche des voitures serait suspendue si ce défaut n'était pas trouvé et réparé dans les 24 heures (cette règle n'est pas applicable lorsque la ligne et le retour sont placés dans un caniveau souterrain).

11. — La résistance d'isolement de tous les câbles à isolement continu employés pour les lignes, retours isolés, feeders, etc., et placés souterrainement ne devra pas descendre au-dessous de 10 megohms par mile (1 609 m.) de longueur. Un essai de la résistance d'isolement de ces câbles devra être fait au moins une fois par mois.

12. — Dans le cas où, sur une partie quelconque du tramway où la ligne est aérienne et où le retour se fait à la surface du sol ou souterrainement, des fils posés avant la construction du tramway suivraient la même direction ou à peu près que celui-ci, la Compagnie devra, si elle en est requise par les propriétaires de ces câbles ou par l'un quelconque d'entre eux, leur permettre d'intercaler et d'entretenir dans sa ligne une ou plusieurs bobines d'induction ou autres appareils destinés à prévenir les perturbations par induction électrique ; dans le cas où la Compagnie refuserait son approbation à tel de ces appareils, lesdits propriétaires pourront en appeler

Digitized by Google

au Board of Trade, qui pourra, s'il le juge utile, les dispenser de cette approbation [1].

13. — Tout retour isolé devra être placé parallèlement à la ligne et à une distance ne dépassant pas 3 pieds (0,91 m.), si la ligne et le retour sont tous deux aériens, ou 18 pouces (0,46 m.) s'ils sont tous deux souterrains.

14. — Dans l'établissement, la jonction et l'utilisation de ses feeders, la Compagnie prendra toutes les précautions raisonnables pour éviter les effets nuisibles sur les fils existants.

15. — La Compagnie devra établir et entretenir toutes ses installations de façon à assurer un bon contact entre les moteurs et la ligne et le retour respectivement.

16. — La Compagnie emploiera les meilleurs moyens pour empêcher la production d'étincelles excessives aux contacts frottants ou roulants, notamment dans les générateurs et moteurs.

17. — Dans le fonctionnement des voitures le courant devra pouvoir être gradué à la demande au moyen d'un rhéostat contenant au moins 20 sections ou de toute méthode équivalente permettant de faire varier graduellement la résistance [2].

18. — Lorsque la ligne, le retour ou tous les deux seront placés dans un caniveau souterrain, celui-ci devra satisfaire aux conditions suivantes :

*a*) Le caniveau sera construit de façon à rendre faciles l'accès et la visite des conducteurs y contenus et de tous leurs isolateurs et supports.

*b*) Il sera construit de manière à pouvoir être promptement débarrassé des poussières ou autres débris, et l'on ne devra jamais y laisser subsister d'accumulation de ce genre.

*c*) Il aura une pente suffisante et sera relié à des puisards ou autres moyens de drainage pour que l'eau puisse s'écouler sans risquer d'atteindre le niveau des conducteurs.

*d*) Si le caniveau est métallique, ses diverses parties devront être reliées entre elles de manière à assurer une continuité complète pour le passage des courants électriques. Si les rails font partie du retour, ils seront connectés électriquement avec le caniveau au moyen de bandes de cuivre ayant une section d'au moins 1/10 de pouce carré (40,3 mm²) ou par tout autre système d'égale conductance, à des intervalles ne dépassant pas 100 pieds (30,50 m.). Si au contraire le retour est entièrement isolé et renfermé dans le caniveau, celui-ci devra être relié à la terre à la station génératrice à travers un galvanomètre de grande résistance, destiné à indiquer tout contact, même partiel, entre le caniveau et la ligne ou le retour.

*e*) Si le caniveau est formé de matériaux non métalliques imparfaitement

[1] Cette règle intéressante n'aurait pas grande raison d'être en France. Les dispositifs qu'elle prévoit sont du reste jusqu'ici peu efficaces; s'ils l'étaient, l'intérêt du concessionnaire, exposé à des demandes de dommages et intérêts, suffirait à lui en conseiller l'emploi.

[2] Cette règle, qui date de l'époque de la régulation par rhéostat, serait excellente si elle était pratique, mais, comme on l'a vu dans l'étude de la régulation, la méthode série-parallèle universellement employée aujourd'hui ne permet l'emploi que de 3 ou 4 touches au rhéostat.

Digitized by Google

isolants et imperméables à l'humidité et s'il est posé à moins de 6 pieds (1,83 m.) d'une conduite, un écran non conducteur devra être interposé entre le caniveau et la conduite ; cet écran sera de telle nature et de telles dimensions qu'aucun courant ne puisse passer de l'un à l'autre sans avoir à traverser au moins 6 pieds (1,83 m.) de terre ; ou bien le caniveau devra être lui-même enduit de bitume ou d'une autre substance non conductrice et imperméable partout où il passera à moins de 6 pieds (1,83 m.) d'une conduite.

*f*) Le courant de perte sera mesuré chaque jour avant ou après les heures de service, la ligne étant en pleine charge ; si la perte dépasse 1/2 ampère par mile (1609 m.) de tramway, le défaut devra être localisé et réparé aussitôt que possible ; la marche des voitures serait suspendue si ce défaut n'était pas trouvé et réparé dans les 24 heures.

19. — La Compagnie devra, en tant qu'ils seront applicables à son système d'exploitation, tenir les relevés ci-après, qui seront communiqués à toute réquisition au Board of Trade :

*Relevés journaliers.*

Nombre des voitures en service ;
Courant maximum ;
Voltage maximum ;
Courant maximum passant par les prises de terre (voir art. 6, I) ;
Courant de perte (voir art. 10 et 18, *f*) ;
Chute de potentiel sur le retour (voir art. 7).

*Relevés mensuels.*

Résistance des prises de terre (voir art. 5) ;
Résistance d'isolement des câbles isolés (voir art. 11).

*Relevés trimestriels.*

Conductance des connexions avec les conduites (voir art. 8).

*Relevés occasionnels.*

Essais faits conformément à l'article 6, II ;
Localisation et réparation des défauts, avec indication du temps employé ;
Relation de tout événement anormal ayant affecté le fonctionnement électrique du tramway.

---



Digitized by Google

## ANNEXE N° 22

# RÈGLEMENT DU « BOARD OF TRADE »

DE JUIN 1894

## RELATIF AUX CHEMINS DE FER TUBULAIRES A TRACTION ÉLECTRIQUE

*Pris en exécution de l'Acte de concession de... pour réglementer l'usage des retours isolés ou des retours métalliques non isolés de faible résistance, pour prévenir la fusion ou la dégradation par électrolyse des conduites de gaz, d'eau ou de tous autres conduites, ouvrages ou masses métalliques, et pour réduire au minimum qu'on peut raisonnablement attendre en pratique les troubles occasionnés aux lignes, fils et appareils électriques autres que ceux du concessionnaire et aux courants circulant dans ces lignes, qu'elles emploient ou non le retour par la terre.*

**Définitions.** — Dans ce qui suit, l'expression « énergie » signifie énergie électrique; « générateur » signifie le ou les dynamos ou autres appareils électriques employés pour la génération de l'énergie; « moteur » signifie tout moteur électrique monté sur un train et employé pour la transformation de l'énergie; « conduite » signifie toute conduite de gaz ou d'eau ou tout autre conduite, ouvrage ou masse métallique; « la compagnie » a la même signification que dans l'Acte de concession de....

### RÈGLEMENT

1. — Toute dynamo employée comme générateur sera d'un modèle et d'une construction tels qu'elle donne un courant continu sans pulsations appréciables.

2. — L'un des conducteurs employés pour transmettre l'énergie du générateur aux moteurs sera dans tous les cas isolé de la terre par des isolateurs en substance solide et durable, de forme telle qu'ils offrent une grande résistance aux fuites de surface, et sera, dans ce qui suit, appelé « ligne »; l'autre peut être isolé de la même manière sur toute sa longueur ou ne pas l'être dans telle partie et jusqu'à tel point qui sera indiqué dans les prescriptions ci-après, et sera dorénavant appelé « retour ».

3. — Les rails de roulement et conducteurs servant de retour peuvent ne pas être isolés, à condition d'être à l'intérieur du tunnel à revêtement métallique; toutes les autres parties du retour seront isolées.

4. — Tout conducteur non isolé formant partie du retour sera relié électriquement aux rails à intervalles d'au plus 100 pieds (30,50 m.) par des bandes

Digitized by Google

de cuivre ayant au moins 1/2 pouce carré (107 mm²) de section ou par tout autre procédé donnant une égale conductibilité.

5. — Toute partie non isolée du retour devra être reliée à la borne négative du générateur, et cette borne devra être reliée en même temps aux plaques métalliques formant le revêtement du tunnel, à moins que celles-ci ne soient déjà d'autre part en communication métallique avec les rails. Dans tous les cas, ces connexions avec le générateur devront être faites par l'intermédiaire d'ampèremètres appropriés.

6. — Les plaques ou segments métalliques formant le revêtement du tunnel devront être disposées et reliées entre elles de manière à former un tube métallique continu.

7. — Toute conduite extérieure qu'on fera pénétrer dans le tube, à l'exception de celles qui appartiennent à la Compagnie et qui sont isolées ou placées à plus de 6 pieds (1,83 m.) de toute autre conduite, devra être disposée de façon à ne pouvoir se mettre en communication métallique avec le tube ou les conducteurs électriques qu'il contient.

8. — Si les rails font partie du retour, ils devront être soit reliés au tube au moins tous les 100 pieds (30,50 m.) par des conducteurs métalliques capables de supporter sans échauffement appréciable un courant de 100 amp., soit au contraire complètement isolés de ce tube, sauf par leur liaison au pôle négatif du générateur. Dans ce dernier cas, ils devront reposer sur des traverses en bois préparé spécialement pour résister à la pénétration de l'humidité et à la production de toute végétation, et ils devront être de section suffisante et assez bien connectés électriquement aux joints et d'une file de rails à l'autre, avec addition, au besoin, de conducteurs ou feeders supplémentaires, pour que la différence de potentiel entre les rails et le tube métallique ne dépasse en aucun point, ni à aucun régime, une valeur de dix volts. La vérification du voltage devra être faite au moins une fois par mois.

9. — Si le retour n'est pas isolé en totalité ou en partie, la Compagnie devra enregistrer jour par jour les différences de potentiel constatées pendant le service et au moment de la plus forte charge entre les deux points du retour non isolé le plus éloigné et le plus rapproché de la station génératrice. Si, à un moment quelconque, cette différence de potentiel dépasse sept volts, la Compagnie devra immédiatement prendre les mesures nécessaires pour la ramener au-dessous de cette limite.

10. — Toute ligne ou retour isolé devra être construit par sections et des interrupteurs devront être disposés aux stations ou à proximité de celles-ci pour permettre d'isoler ces sections de façon à localiser rapidement les défauts.

11. — La résistance d'isolement de tout conducteur placé par la Compagnie en dehors du tube métallique ne devra pas descendre au-dessous de 10 mégohms par mile (1609 m.). Elle sera vérifiée au moins une fois par mois.

12. — Le courant de perte sera mesuré chaque jour avant et après les heures de service à la tension normale et inscrit sur un registre. Si la valeur de ce courant semble indiquer un défaut, on devra immédiatement prendre des mesures pour le localiser et le faire disparaître.

13. — La Compagnie devra, en tant qu'ils seront applicables à son système d'exploitation, tenir les relevés ci-après, qui devront être conservés au moins

Digitized by Google

pendant douze mois et communiqués au Board of Trade à toute réquisition :

*Relevés journaliers.*

Nombre des trains en service ;
Courant maximum ;
Voltage maximum ;
Courant maximum entre les rails et le générateur ;
Courant maximum entre le tube et le générateur ;
Courant de perte (voir art. 12) ;
Chute de potentiel sur le retour (voir art. 9).

*Relevés mensuels.*

Différence de potentiel maxima entre les rails et le tube métallique (voir art. 8) ;
Résistance d'isolement des conducteurs extérieurs au tube (voir art. 11).

*Relevés occasionnels.*

Localisation et réparation des défauts, avec indication du temps employé ;
Relation de tout événement anormal ayant affecté le fonctionnement électrique du chemin de fer.

Digitized by Google

## ANNEXE N° 23

# RÈGLEMENT DU « BOARD OF TRADE »

DU 22 NOVEMBRE 1897

## RELATIF A L'EMPLOI DE LA TRACTION ÉLECTRIQUE SUR LES TRAMWAYS DE LEEDS

### RÈGLEMENT

1. — Toute voiture automobile employée sur les tramways de la ville de Leeds devra satisfaire aux conditions suivantes :

*a*) Être munie d'un frein à sabots manœuvré au moyen d'une vis ou d'une pédale, et en outre d'un frein électrique efficace ;

*b*) Être pourvue dans le délai de six mois à partir de la date du présent règlement, ou dans un délai plus long qui pourra être fixé par le Board of Trade, d'un régulateur construit de manière à ne pouvoir être faussé par le mécanicien et qui coupe automatiquement le courant des moteurs dès que la vitesse dépasse 10 miles (16 km.) à l'heure[1] ;

*c*) Porter un numéro d'ordre bien apparent à l'intérieur et à l'extérieur ;

*d*) Être pourvue d'un chasse-corps efficace pour empêcher les accidents de personnes et d'un timbre ou d'un sifflet pour signaler l'approche de la voiture ;

*e*) Être construite de manière à donner au mécanicien la vue la plus étendue possible sur la voie ;

*f*) Avoir un mécanisme assez peu bruyant pour ne pas gêner les voyageurs ni le public et dont toutes les parties placées sous la voiture soient cachées à la vue à partir de 0,10 m. de hauteur au-dessus du niveau des rails ;

*g*) Entre le coucher et le lever du soleil ou par les temps de brouillard, porter à l'avant un feu coloré.

2. — Toute voiture d'attelage devra satisfaire aux conditions suivantes :

*a*) Être munie d'un frein à sabots manœuvré au moyen d'une vis, d'une pédale ou autrement ;

*b*) Porter un numéro d'ordre bien apparent à l'intérieur et à l'extérieur.

3. — Une automobile ne pourra remorquer plus d'une voiture d'attelage. Quand deux voitures marcheront ainsi accouplées, il y aura, en dehors du receveur, sur la plate-forme avant de la seconde, un agent dont la seule

[1] L'application de cette prescription a été retardée jusqu'ici par la difficulté de trouver un régulateur qui satisfasse aux exigences du Board of Trade.

Digitized by Google

fonction sera de manœuvrer les freins, et le mécanicien devra se trouver en communication constante avec cet agent pour pouvoir lui donner, au besoin, l'ordre de serrer ses freins. Les deux voitures seront liées entre elles par deux appareils d'attelage distincts.

4. — Toutes les voitures seront pourvues des dispositifs nécessaires pour assurer la sécurité des voyageurs aussi bien pendant leur montée ou leur descente que pendant leur transport, et pour les protéger contre les mécanismes quelconques servant à la traction ou à la propulsion de la voiture.

5. — Le Board of Trade pourra à tout moment, soit de sa propre initiative, soit sur la demande des autorités locales des districts traversés, faire inspecter les voitures et le système d'exploitation en général, et, s'il le juge nécessaire, interdire l'emploi de toute partie du matériel qui ne serait pas reconnue apte à faire un bon service.

6. — La vitesse des voitures ne devra pas dépasser 8 miles (12,8 km. à l'heure. Elle sera réduite à 4 miles (6,4 km.) à l'heure au plus au passage des aiguilles fixes ou mobiles prises en pointe.

7. — La vitesse ne devra pas dépasser 8 miles (6,4 km.) à l'heure aux points ci-après :

*a*) Dans la courbe de Kirkstall Lane ;

*b*) Dans Briggate, entre Boar Lane et l'extrémité nord de la station de voitures ;

*c*) Devant les écoles primaires, aux heures d'entrée ou de sortie des enfants.

Elle ne devra pas dépasser 6 miles (9,6 km.) à l'heure à la descente de la pente de Roundhay Road entre Whitfield Street et Bankside Street.

8. — Les voyageurs ne devront avoir accès à aucune partie des circuits électriques.

9. — Tous les conducteurs, branchements et connexions électriques des voitures auront une section largement calculée, et devront être parfaitement isolés et protégés par des fusibles ou autres appareils du même genre, disposés de manière à couper le circuit avant que l'augmentation de courant ait pu élever la température des conducteurs d'une façon dangereuse ; la longueur des fils fusibles ne sera pas inférieure à 2 pouces (50 mm.).

10. — La tension électrique ou différence de potentiel entre l'un des conducteurs aériens employés pour l'exploitation des tramways et la terre ou entre deux quelconques de ces conducteurs aériens ne dépassera en aucun cas 500 volts en courant continu.

11. — Les conducteurs aériens employés pour l'exploitation des tramways ne devront être en aucun point à moins de 7 pieds (5,18 m.) au-dessus du sol et seront fixés solidement à des supports dont l'intervalle ne devra pas dépasser 120 pieds (36,60 m.), à moins d'une autorisation spéciale du Board of Trade.

12. — Le fil de travail sera divisé en sections dont la longueur ne dépassera pas 275 pieds (800 m.) (sauf autorisation spéciale du Board of Trade) et entre

Digitized by Google

lesquelles seront intercalés des coupe-circuits de sûreté placés de façon à être inaccessibles aux piétons.

13. — La section d'aucun conducteur établi dorénavant, aériennement ou souterrainement, sur la voie publique ne devra être inférieure à celle d'un fil de 1/10 de pouce (4, 19 mm²) ; lorsque ce conducteur sera formé de plusieurs fils, le diamètre d'aucun d'eux ne devra être moindre que le n° 20 B. W. G. (0,89 mm.). Cette prescription ne s'applique pas aux fils témoins reliés aux rails pour mesurer la différence de potentiel sur le retour et ne communiquant pas autrement avec le circuit électrique.

14. — Aucune portion du circuit électrique ne devra débiter plus de 300 000 watts, sauf autorisation écrite du Board of Trade, et des dispositions devront être prises pour empêcher cette limite d'être jamais dépassée.

15. — Tous les conducteurs électriques placés sur les voitures et en communication avec l'appareil de prise de courant seront constitués par des câbles flexibles isolés au caoutchouc de la manière la plus parfaite et protégés en outre d'une façon spéciale au voisinage des parties métalliques de la voiture en vue d'éviter tout danger de dérivation.

16. — La perche du trôlet sera reliée électriquement aux roues de la voiture, de manière à ne pouvoir se charger d'électricité au cas où les conducteurs qui la traversent présenteraient un défaut d'isolement.

17. — Il y aura sur chaque voiture un interrupteur de sûreté placé de façon à pouvoir être aisément manœuvré par le mécanicien en cas de dérangement du régulateur de marche.

18. — Des fils de garde seront établis et entretenus en bon état à tous les croisements de fils télégraphiques ou téléphoniques avec les conducteurs aériens des tramways.

19. — Lorsqu'une explosion, un incendie ou un accident quelconque ayant occasionné ou pouvant avoir occasionné mort d'homme ou des blessures aura été causé par l'exploitation électrique des tramways, il en sera immédiatement donné avis au Board of Trade.

### PÉNALITÉS

La municipalité de Leeds ou toute personne employant l'énergie électrique pour l'exploitation des tramways qui contreviendra aux prescriptions précédentes sera passible, pour chaque contravention, d'une amende n'excédant pas 10 livres (250 francs) et, dans le cas où la contravention se continuerait, d'une amende supplémentaire n'excédant pas 5 livres (125 francs) pour chaque jour qui suivra la première condamnation.

### ARTICLES ADDITIONNELS

1. — Le mécanicien devra faire fonctionner son timbre ou sifflet avertisseur chaque fois que ce sera nécessaire.

2. — Lorsqu'un accident sera à craindre, il devra toujours arrêter sa voiture.

Digitized by Google

3. — L'entrée et la sortie des voitures devront se faire par la plate-forme d'arrière.

4. — Les voitures devront être arrêtées immédiatement avant d'arriver aux points ci-après :

*a*) Origine de la courbe de Kirkstall Lane ;
*b*) Croisement de Willow Grove avec Kirkstall Road ;
*c*) Croisement de Wellington Road avec Wellington Street ;
*d*) Origine de la courbe au croisement de Boar Lane avec Briggate ;
*e*) Croisement d'Upperhead Row avec Briggate ;
*f*) Croisement de Commercial Street avec Briggate ;
*g*) Croisement de Chapeltown Road avec Roundhay Road ;
*h*) Croisement de Whitfield Street avec Roundhay Road, dans le trajet de retour.

5. — Un exemplaire imprimé du présent règlement sera affiché dans un endroit bien apparent à l'intérieur de chaque voiture.

### PÉNALITÉS

Toute infraction aux articles additionnels ci-dessus sera punie d'une amende n'excédant pas 2 livres (50 francs).

Les dispositions de l'Acte relatif aux tramways de 1870, concernant le recouvrement des amendes, sont applicables aux contraventions commises à l'égard du présent règlement.

---

Digitized by Google

# ANNEXE N° 24

## PRESCRIPTIONS DU MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS ALLEMAND

RELATIVES AUX MESURES A PRENDRE

POUR LA

## PROTECTION DES LIGNES TÉLÉGRAPHIQUES ET TÉLÉPHONIQUES

CONTRE LES PERTURBATIONS DUES AU VOISINAGE DES LIGNES DE TRAMWAYS ÉLECTRIQUES A COURANT CONTINU[1]

1. — On n'emploiera pour l'alimentation de la ligne de tramway que des dynamos ne donnant pas de pulsation de courant appréciable, afin d'éviter la production de bruits par les courants induits dans les lignes téléphoniques aériennes voisines.

2. — Dans le cas où le conducteur servant à la transmission de l'énergie aux voitures sera un fil aérien nu et où le conducteur de retour sera formé par les rails, ces derniers devront avoir une conductance aussi grande que possible.

En outre, aux points de croisement des fils téléphoniques et télégraphiques préexistants avec les conducteurs du tramway, la Compagnie exploitante devra établir à ses frais au-dessus de ces derniers soit des fils neutres, soit même dans des cas appropriés des filets métalliques ou tout autre dispositif de protection privé de courant ayant pour effet de rendre tout contact entre les deux espèces de conducteurs matériellement impossible. En place ou en addition de ces dispositifs, d'autres mesures de protection des lignes télégraphiques et téléphoniques pourront être spécialement prescrites par le service du contrôle, après avis de l'administration des télégraphes.

3. — Aux points de croisement, la distance entre les fils télégraphiques ou téléphoniques les moins élevés et les fils de protection devra être d'au moins 1 m. Lorsque, pour obtenir cet écartement, il sera nécessaire de relever les fils télégraphiques et téléphoniques, cette opération sera faite par l'administration des télégraphes aux frais du concessionnaire du tramway. De même, les poteaux ou rosaces servant à la fixation des câbles de support des fils de service du tramway devront être séparés par un intervalle d'au moins 1,25 m. des fils télégraphiques ou téléphoniques les plus voisins. Si, malgré cela, il y avait lieu de craindre que, sous l'influence du vent ou de toute autre cause, un contact puisse se produire entre les fils télégraphiques ou téléphoniques et les

[1] Circulaire du ministère des Travaux Publics allemand du 31 décembre 1897 concernant une ligne particulière, mais qui sera dorénavant reproduite pour toutes les nouvelles lignes.

Digitized by Google

fils de service ou d'alimentation ou toute autre partie de la canalisation du tramway, le concessionnaire pourra être tenu, sur la demande de l'administration des télégraphes, de prendre, conformément aux indications du service du contrôle, des mesures de protection destinées à rendre tout contact de ce genre impossible.

4. — Partout où la ligne de tramway sera établie parallèlement à des lignes télégraphiques ou téléphoniques à une distance moindre que 10 m., le service du contrôle devra, sur la demande de l'administration des télégraphes, prescrire l'installation sur les canalisations d'énergie de dispositifs convenables pour empêcher tout contact avec les lignes à courant faible, à moins que les circonstances locales ne rendent pareil contact matériellement impossible même en cas de chute d'un poteau ou de rupture d'un fil.

4 *a*. — On devra en outre :

α) Établir des baguettes de protection au-dessus des conducteurs à courant fort et des fils de garde parallèles à ces conducteurs à tous les croisements où le déplacement des lignes télégraphiques ou téléphoniques n'est pas prévu, ou bien où, étant prévu, il n'est pas encore effectué;

β) Dans les cas assez rares où des fils téléphoniques isolés dont le déplacement est projeté, mais non encore effectué, croisent perpendiculairement les conducteurs d'énergie, établir simplement sur ceux-ci des baguettes de protection en bois.

5. — Les câbles souterrains (feeders) reliant la station génératrice aux rails devront être posés le plus loin possible des câbles télégraphiques et, autant que faire se pourra, sous le trottoir opposé. Les croisements devront être disposés de façon que les câbles souterrains à courant fort soient éloignés de 0,40 m. au moins des conducteurs à courant faible. Lorsque des conducteurs télégraphiques ou téléphoniques seront croisés par un câble à courant fort ou seront longés par lui à moins de 0,50 m. de distance, ils devront (à moins que l'un des deux systèmes de canalisations ne soit placé dans un caniveau maçonné) être protégés, aux frais du concessionnaire, par des tubes en fer s'étendant jusqu'à 1,50 m. environ de chaque côté du point de croisement dans le premier cas et à 2 ou 3 m. au delà des points d'approche dans le second cas ; en outre, la surface des tubes de protection tournée vers les câbles à courant fort sera revêtue d'un enduit suffisamment épais de ciment ou de béton en forme de demi-manchon ; cette carapace, destinée à protéger le tube en fer contre le contact du métal fondu et les câbles télégraphiques contre un échauffement exagéré, devra s'étendre sur 0,50 m. de longueur de chaque côté des points de croisement ou d'approche. Si le câble à courant fort aboutit à des boîtes de distribution placées à moins de 0,50 m. d'un câble télégraphique ou téléphonique, on devra prendre les mêmes mesures de protection que dans le cas de l'approche directe considéré plus haut ; toutefois, on pourra s'affranchir de cette prescription dans le cas où la boîte (à l'exception du couvercle) serait entourée de maçonnerie ou bien d'une couche de ciment ou de béton.

6. — Si, par suite du parallélisme des deux espèces de câbles ou de toute autre cause, il y a lieu de craindre des perturbations dans les câbles télégraphiques ou téléphoniques, ou si des perturbations s'y sont déjà produites, le concessionnaire devra prendre les mesures nécessaires pour faire disparaître toute influence perturbatrice.

Digitized by Google

Si, pour obtenir ce résultat, il est nécessaire de déplacer des câbles téléphoniques ou télégraphiques, le concessionnaire devra remplir toutes les formalités exigées par les règlements techniques et administratifs en vigueur et supporter tous les frais occasionnés par ce déplacement.

7. — Sur la demande de la direction générale des Postes et Télégraphes, le service du contrôle décidera s'il y a lieu, et en quels points, d'intercaler dans les lignes téléphoniques ou télégraphiques des plombs de sûreté destinés à les protéger plus complètement et notamment à empêcher des incendies dans le cas où le courant d'un conducteur à haute tension pénétrerait dans ces lignes. L'installation de ces plombs sera faite par l'administration des télégraphes aux frais du concessionnaire du tramway.

Cette obligation reste, d'ailleurs, subordonnée à la décision définitive de la direction générale des Postes et Télégraphes.

8. — Dans les cas où les mesures indiquées aux articles précédents seraient insuffisantes pour prévenir les inconvénients ou perturbations dans les lignes télégraphiques ou téléphoniques, le concessionnaire du tramway devra prendre sans retard, d'accord avec la direction des Postes et Télégraphes, d'autres mesures, jusqu'à disparition complète de ces inconvénients ou troubles.

En cas de désaccord entre le concessionnaire et l'administration des postes et télégraphes, il appartient au service du contrôle de décider s'il y a lieu de prendre d'autres mesures de sécurité que celles indiquées plus haut et quelles devront être ces mesures.

9. — Lorsque, par suite de la transformation d'une ligne de tramway à traction animale en ligne exploitée électriquement, il sera nécessaire de déplacer des voies existantes ou d'en établir de nouvelles, celles-ci ne devront pas, en dehors des points de croisement, passer au-dessus de câbles télégraphiques souterrains. Si le tracé du tramway ne permet pas de faire autrement, ces câbles seront déplacés par l'administration des télégraphes aux frais du concessionnaire. Quant à la question de savoir si la voie peut ou non être déplacée, c'est au service du contrôle qu'il appartient de la trancher.

10. — L'emploi de la traction électrique ne pourra en aucune façon empêcher l'administration des postes et télégraphes de procéder en tout temps à la réparation ou au déplacement de ses câbles souterrains, même si ces travaux devaient interrompre pendant un certain temps l'exploitation du tramway. Mais elle devra, autant que possible, n'exécuter de travaux de ce genre qu'aux heures où la circulation des voitures de tramways est arrêtée. Chaque fois que la Compagnie du tramway se proposera d'exécuter des fouilles dans des rues où existent des câbles télégraphiques souterrains, elle devra en aviser en temps utile et par écrit la direction supérieure locale des postes et télégraphes ou les services télégraphiques compétents. Dans le cas où ces travaux devraient entraîner un arrêt dans le fonctionnement des câbles télégraphiques ou téléphoniques, la Compagnie du tramway sera tenue, si l'administration des télégraphes le demande, de remettre ses travaux à une époque où le service télégraphique ou téléphonique sera arrêté.

11. — Dans le cas où des défauts de la canalisation à courant fort viendraient à occasionner des troubles dans les lignes télégraphiques ou téléphoniques, la Compagnie du tramway devra, sur la demande du service télégraphique compétent ou de la direction générale des Postes, suspendre son service

Digitized by Google

dans la zone et pendant la durée nécessaires pour la réparation de ces défauts.

En cas de désaccord entre l'administration des postes et télégraphes et la Compagnie du tramway au sujet de la nécessité et de la durée de ces interruptions de circulation, c'est le service du contrôle technique des chemins de fer qui statuera en dernier ressort.

---

Digitized by Google

## ANNEXE N° 25

### CAHIER DES CHARGES GÉNÉRAL

POUR LA CONCESSION ET L'ÉTABLISSEMENT

DE

# NOUVELLES LIGNES DE TRAMWAYS A BERLIN

*Dressé par la Commission municipale des moyens de transport de la ville de Berlin, le 22 décembre 1897.*

### DURÉE DE LA CONCESSION ET BUT DE L'ENTREPRISE

§ 1. — *a*) La concession de l'entreprise (dans le sens du § 6 de la loi sur les chemins de fer d'intérêt local) prendra fin le 31 décembre 1919.

*b*) L'entreprise à laquelle s'applique cette concession a pour objet le transport des voyageurs et des marchandises.

### OBLIGATIONS DU CONCESSIONNAIRE

§ 2. — *a*) Le concessionnaire paiera à la municipalité de Berlin, aux dates qui seront ultérieurement fixées, une redevance annuelle de — p. 100 sur les recettes brutes provenant du transport des voyageurs et des marchandises.

Cette redevance ne sera prélevée que sur les recettes des lignes empruntant des voies publiques dont l'entretien est à la charge de la municipalité (tronçons imposables) et non sur celles correspondant à des voies dont l'entretien incombe à des tiers (tronçons non imposables).

Si une ligne comprend à la fois des tronçons imposables et des tronçons non imposables, la redevance sera établie d'après les recettes brutes totales, déduction faite de la part de ces recettes relative aux tronçons non imposables, laquelle sera calculée proportionnellement au nombre de voitures-kilomètres parcourus sur ces derniers.

En cas de non-paiement de la redevance dans le délai de 14 jours après l'échéance fixée, le concessionnaire aura à payer en outre les intérêts à 5 p. 100 de cette somme.

*b*) De plus, lorsque le bénéfice net de l'entreprise distribuable aux participants conformément à la loi et aux règles commerciales ordinaires dépassera — p. 100 du capital réellement engagé, une part de la plus-value qui sera déterminée ultérieurement reviendra à la ville.

Le paiement de cette redevance supplémentaire aura lieu six semaines après l'établissement du bilan définitif et au plus tard six mois après la clôture de l'exercice.

Digitized by Google

En cas de retard dans le paiement, les dispositions indiquées en *a*) restent applicables.

*c*) Le concessionnaire est tenu de dresser chaque année, d'après ses livres de comptabilité, un relevé de ses recettes brutes et bénéfices nets et de faire parvenir cet état à l'administration municipale[1] au plus tard le — de chaque année.

L'administration municipale a le droit de faire vérifier le compte des recettes brutes et de la répartition des bénéfices par un expert-comptable assermenté, auquel le concessionnaire sera tenu de communiquer ses livres.

### DÉLAIS D'EXÉCUTION

§ 3. — *a*) Tout entrepreneur ayant obtenu la concession d'une ligne doit adresser à l'autorité compétente, dans le délai de six mois à dater du jour où il aura reçu notification de l'approbation de sa soumission, une demande d'autorisation de commencer les travaux.

1. Faute par l'entrepreneur de se conformer à cette prescription, l'administration municipale aura le droit à son choix soit de lui retirer la concession, soit de se pourvoir elle-même auprès de l'autorité compétente de l'autorisation nécessaire et, une fois cette autorisation accordée, de construire et d'exploiter la ligne en question aux frais du concessionnaire ou d'en concéder, le cas échéant, la construction et l'exploitation à un autre entrepreneur. Dans tous les cas, le concessionnaire qui se sera ainsi mis en défaut sera tenu d'accorder l'usage illimité des voies se raccordant avec la ligne en question qui pourraient lui appartenir et dont l'emprunt présenterait des avantages au point de vue de la bonne exploitation de cette ligne.

2. Si, dans le délai d'un an à partir de la notification de l'approbation de sa soumission, l'entrepreneur n'a pas obtenu de l'autorité compétente l'autorisation de commencer les travaux, l'administration municipale aura le droit de lui retirer sa concession.

*b*) L'entrepreneur est tenu de commencer les travaux aussitôt que l'autorisation nécessaire lui aura été accordée, de les achever et de mettre la ligne en exploitation au plus tard au bout d'une campagne complète de travail (du 1er avril au 1er octobre). Au cas où ce délai serait dépassé, l'administration municipale aura la faculté soit de lui retirer sa concession et d'exiger la remise des rues, chemins et places dans leur état primitif, ou de faire exécuter ce travail aux frais du concessionnaire, soit de construire ou d'achever et de mettre elle-même la ligne en exploitation, également aux frais du concessionnaire, ou bien encore d'en concéder la construction ou l'achèvement et l'exploitation à un autre entrepreneur. Les dispositions de l'article précédent relatives à l'emprunt des autres voies appartenant au concessionnaire sont également applicables ici.

*c*) Dans le cas où des circonstances de force majeure ou d'autres empêchements indépendants de la volonté de l'entrepreneur le mettraient hors d'état de terminer les travaux dans les délais prescrits, par exemple en cas de

[1] Textuellement au « Magistrat », nom de l'assemblée qui exerce le pouvoir exécutif à Berlin.

Digitized by Google

grève ne provenant pas de son fait, le concessionnaire aura le droit de demander une prolongation de délai proportionnée au retard subi.

### SYSTÈME D'EXPLOITATION

§ 4. — *a*) L'exploitation pourra se faire soit par conducteurs aériens, soit par le système mixte à accumulateurs et fils aériens, soit par accumulateurs seuls.

*b*) Si, au cours de la concession, un autre système d'exploitation mécanique, déjà existant ou encore à trouver, paraissait à l'administration municipale mieux approprié aux conditions locales et surtout moins encombrant pour les voies publiques empruntées que ceux mentionnés en *a*), le concessionnaire aurait le droit d'adopter ce nouveau système.

*c*) Il sera d'ailleurs tenu d'appliquer sur la totalité ou sur une partie de son réseau tout système d'exploitation autre que ceux indiqués en *a*) dont l'administration municipale exigerait l'emploi. Dans le cas où cette substitution entrainerait pour le concessionnaire des frais d'établissement ou d'exploitation supplémentaires, la ville lui paierait une indemnité correspondante, déduction faite toutefois des avantages résultant pour lui de l'adoption du nouveau système. Cette disposition s'applique non seulement au cas où la ville exigerait l'adoption du nouveau système sur une ligne déjà construite pour l'exploitation électrique, mais encore au cas où il s'agit d'une ligne nouvelle à construire.

### FOURNITURE DE LA FORCE MOTRICE

§ 5. — Le concessionnaire est tenu d'emprunter sa force motrice, au moins pour les lignes comprises dans les limites actuelles de la ville de Berlin et de sa banlieue, aux usines électriques de Berlin conformément au contrat qui sera passé entre l'administration municipale et la Société « Berliner Elektricitätswerke ».

Dans le cas où ce contrat ne pourrait être conclu, l'entrepreneur devra prendre son énergie électrique, au moins pour les lignes présentes ou à venir comprises dans les limites actuelles de la ville et de sa banlieue, à l'usine qui lui sera désignée par l'administration municipale.

Cette dernière s'engage de son côté à s'entremettre pour obtenir du fournisseur de force motrice des conditions équitables. La pose et l'entretien de la canalisation de distribution seront à la charge de ce dernier.

Si l'accord ne parvenait pas à se faire entre le concessionnaire et le fournisseur de courant en raison des exigences de celui-ci (l'administration municipale statuant en pareil cas en dernier ressort), le concessionnaire pourra être autorisé, en l'absence de stipulations contraires, à installer sa propre usine pour la production de l'énergie électrique, ainsi qu'à poser les canalisations nécessaires sur la voie publique.

### PROJETS D'EXÉCUTION

§ 6. — Le concessionnaire est tenu, avant de commencer ses travaux, d'en soumettre le projet d'exécution à l'approbation de l'administration municipale,

Digitized by Google

qui pourra réglementer par des prescriptions spéciales, dans les limites fixées par le présent cahier de charges, l'usage des propriétés de la ville.

### MESURES DE PRÉCAUTION ET DE SÉCURITÉ

§ 7. — *a*) L'entrepreneur est tenu de prendre toutes les mesures de précaution suggérées par l'expérience et répondant aux derniers perfectionnements de l'industrie pour éviter les accidents causés par l'exploitation du tramway.

*b*) Il doit également prendre les dispositions nécessaires pour empêcher que le courant électrique n'endommage les installations de la ville et notamment prévenir toute action nuisible des courants « vagabondants » dans le cas de l'emploi des rails comme conducteurs de retour.

*c*) Il devra tout au moins se conformer dans ce but aux prescriptions du règlement ci-annexé concernant l'exploitation des tramways électriques dans la ville de Berlin.

L'administration se réserve le droit d'apporter à ces prescriptions les modifications et additions qu'elle jugerait utiles, et le concessionnaire sera également tenu de s'y conformer.

Ce dernier reste, d'ailleurs, responsable de tous les dommages qui pourraient être causés de son fait, malgré les mesures prescrites, aux installations de la ville ou à celles des tiers.

### RAPPORTS ENTRE LE SERVICE DES TRAMWAYS ET LES AUTRES SERVICES EMPRUNTANT LE DOMAINE DE LA VILLE

§ 8. — *a*) Tout changement ou élargissement de rues ou de ponts, tout changement ou déplacement de canalisations télégraphiques, pneumatiques, d'eau, d'égout ou d'éclairage, de puits, pompes, plantations, chalets de nécessité, etc., occasionné par l'établissement de la ligne de tramway devra être exécuté aux frais du concessionnaire conformément aux indications du service compétent.

Toutefois, si l'entrepreneur se trouvait ainsi astreint à des élargissements de rues trop considérables, il aurait la faculté de se soustraire à cette obligation en renonçant à la construction de la ligne correspondante, auquel cas l'administration municipale aurait, de son côté, le droit de lui retirer sa concession.

Une convention spéciale déterminera dans quelle proportion l'entrepreneur devra participer aux frais d'entretien des installations publiques dont l'établissement du tramway aura nécessité la réfection.

*b*) Les installations publiques ou privées régulièrement autorisées par la ville pourront, tant qu'aucune convention contraire ne sera intervenue, être réparées, modifiées, agrandies, reconstruites à neuf, etc., sans que l'entrepreneur puisse y mettre opposition, ni élever de réclamations au cas où il serait ainsi conduit à opérer certains changements dans ses installations ou son système d'exploitation, à la condition toutefois, en ce qui concerne les installations privées, que leur autorisation soit antérieure à la concession de la ligne.

*c*) En outre, le concessionnaire est tenu de supporter tous les frais supplé-

Digitized by Google

mentaires que la présence de ses installations pourra occasionner lors des réparations, modifications, agrandissements, reconstructions, etc., visés à l'article *b*).

*d*) Les dispositions de l'article *b*) ne pourront jamais avoir pour effet d'interrompre l'exploitation du tramway.

### REMISE DES LIEUX DANS L'ÉTAT PRIMITIF

§ 9. — En cas de suppression, de modification ou de déplacement de la voie ferrée, le concessionnaire est tenu d'opérer ces modifications ou déplacements dans un délai déterminé et à ses frais, sans aucune indemnité, et de remettre les rues, caniveaux, ponts et autres ouvrages dans leur état primitif, conformément aux prescriptions du service de la voirie.

### ÉTABLISSEMENT DE LA VOIE FERRÉE

§ 10. — Le profil des rails, la disposition de la voie ferrée et d'une manière générale l'établissement du tramway ne devront occasionner aucune gêne à la circulation des voitures ordinaires.

Tout profil de rail et tout mode de construction de la voie qui ne satisferaient pas à cette condition devront être remplacés, sans indemnité, à la requête de l'administration, par d'autres mieux appropriés aux besoins de la circulation.

### PAVAGE DÉFINITIF

§ 11. — Lors de la substitution d'un pavage définitif à un pavage provisoire ou bien de la pose des rails dans un pavage définitif existant ou s'exécutant en même temps que la voie ferrée, le concessionnaire est tenu de prendre à sa charge le pavage de la chaussée sur une zone de 0,30 m. de largeur de part et d'autre de chaque rail sans préjudice des réfections de pavage que la pose des rails pourra nécessiter en dehors de cette zone.

L'administration municipale est autorisée à se substituer à l'entrepreneur pour l'exécution de la partie de pavage qui lui incombe contre le versement d'une certaine redevance, dans les conditions ci-après :

1. Le prix de pavage par mètre courant de voie simple ou double sera fixé par une convention spéciale à intervenir entre l'administration municipale et le concessionnaire ;

2. Ce prix sera revisé d'un commun accord tous les cinq ans ;

3. La taxe de pavage devra être payée au plus tard dans les quatre semaines qui suivront l'achèvement des travaux et la présentation du mémoire ; ce délai passé, la somme due sera majorée de l'intérêt à 5 p. 100.

### CHARGES DU CONCESSIONNAIRE CONCERNANT LES PAVAGES DÉFINITIFS

§ 12. — *a*) Lorsque la ville entreprendra le pavage définitif d'une rue ou d'une partie de rue où des rails sont déjà posés, aussi bien dans le cas d'un



Digitized by Google

pavage neuf qu'en cas de renouvellement d'un pavage existant, le concessionnaire sera tenu :

1. De transformer, sur la demande de l'administration municipale, la voie simple en voie double, si ladite administration estime que les besoins de la circulation l'exigent ;

2. De remplacer les rails et accessoires en service par d'autres présentant plus de garanties de solidité et de durée et d'un type agréé par l'administration municipale.

*b*) A chaque pavage définitif, ainsi qu'à chaque pose de voie neuve exécutée dans un pavage définitif ou en même temps qu'un pavage définitif, le concessionnaire supportera les frais ci-après (non compris dans la redevance indiquée au § 11) :

1. Changement et pose des rails et de leur fondation ;

2. Travaux de raccordement du pavage avec les rails.

### PAVAGE PROVISOIRE

§ 13. — *a*) En cas de pose d'une voie dans un pavage provisoire, le concessionnaire est tenu d'exécuter à ses frais le pavage de toute la surface comprise entre les rails extérieurs, ainsi que celui d'une zone de 0,65 m. de largeur de chaque côté.

*b*) Ce pavage doit être exécuté comme celui du reste de la chaussée.

*c*) Si les anciens matériaux ne sont pas utilisables, l'entrepreneur est tenu d'employer tels matériaux de fondation et tels pavés tirés de telles carrières que l'administration municipale lui indiquera.

*d*) Dans le cas où la pose des rails s'effectuerait non dans un pavage provisoire existant, mais en même temps que le pavage, l'entrepreneur n'aurait à sa charge que le pavage d'une zone de 0,30 m. de chaque côté de chacun des rails.

Ce pavage devra être exécuté conformément aux prescriptions énoncées en *b*) et *c*).

Toutefois, l'administration municipale a le droit d'exécuter elle-même la portion du pavage incombant à l'entrepreneur, moyennant une redevance à fixer par une convention spéciale.

### ENTRETIEN DU PAVAGE

§ 14. — Le concessionnaire est tenu d'entretenir en bon état le pavage et sa fondation dans tout l'espace compris entre les rails extérieurs et sur une largeur de 0,65 m. de chaque côté, conformément aux prescriptions du service de la voirie (voir le § 6 de la loi sur les chemins de fer d'intérêt local).

La ville participera aux frais de cet entretien dans une proportion qui sera déterminée de façon que le concessionnaire n'ait effectivement à sa charge que l'entretien d'une zone de 0,30 m. de largeur de chaque côté de chaque rail, sans que toutefois la ville puisse avoir à supporter pour l'entretien du reste du pavage une dépense supérieure à celle qui lui incomberait si elle l'entretenait elle-même. La part contributive de la ville par mètre courant de

Digitized by Google

voie, simple ou double, sera fixée par une convention spéciale à intervenir entre l'administration et le concessionnaire.

Le prix ainsi fixé sera revisé d'un commun accord tous les cinq ans.

### PROPRIÉTÉ DES MATÉRIAUX DE PAVAGE

§ 15. — *a*) Tous les matériaux employés au pavage de la voie, que celui-ci soit exécuté par la ville ou par le concessionnaire, deviennent la propriété de la ville.

*b*) Il en est de même de tous les ouvrages construits par le concessionnaire pour l'égouttement des rues ou des terrains adjacents, ainsi que des caniveaux, bordures de trottoirs, refuges.

*c*) Lorsque le concessionnaire emploiera pour le pavage des matériaux neufs, ceux des anciens matériaux non réemployés qui appartiennent à la ville devront lui faire retour et être transportés aux frais du concessionnaire aux endroits désignés ; ceux qui n'appartiennent pas à la ville devront être remis à leurs propriétaires respectifs.

### BUREAUX D'ATTENTE

§ 16. — Le concessionnaire est tenu d'installer, sur la demande de l'administration municipale, des bureaux d'attente convenables et chauffés en hiver aux stations extrêmes et aux points d'arrêt intermédiaires.

### RÈGLES SPÉCIALES D'EXPLOITATION

§ 17. — *a*) Si le concessionnaire emploie des voitures découvertes, elles devront être aménagées de façon que le receveur ne soit pas obligé pour circuler de se servir des marchepieds latéraux.

*b*) Le concessionnaire est également tenu de chauffer en hiver, si l'administration le demande, les voitures desservant les lignes suburbaines.

*c*) Les conducteurs de voitures ne devront pas, en dehors de cas exceptionnels, travailler plus de dix heures par jour.

### NETTOYAGE ET ARROSAGE DE LA VOIE

§ 18. — *a*) Le concessionnaire n'est tenu de prendre à sa charge que le nettoyage nécessité par la présence de ses installations sur la voie publique ou par son système d'exploitation, notamment le nettoyage des ornières, des rails et éventuellement celui du caniveau souterrain contenant les conducteurs électriques.

*b*) Il appartient à l'administration municipale de déterminer la partie de ce nettoyage qui sera exécutée par le concessionnaire lui-même et celle dont la ville se chargera moyennant une redevance fixée d'un commun accord.

*c*) Partout où le concessionnaire restera chargé du nettoyage et de l'arrosage de la voie, si ce travail est mal exécuté malgré les injonctions de l'admi-

Digitized by Google

nistration municipale ou de son représentant, celle-ci aura le droit de le faire exécuter par ses propres agents et le concessionnaire sera tenu de lui rembourser sans délai et en totalité le montant des avances ainsi faites.

### ÉCLAIRAGE

§ 19. — S'il était jugé nécessaire d'éclairer d'une manière spéciale les poteaux supportant les conducteurs aériens, le concessionnaire serait tenu de supporter tous les frais d'établissement, d'entretien et de fonctionnement de cet éclairage, sauf convention contraire.

Toutefois, si la ville devait réaliser de ce chef des économies sur l'éclairage des voies publiques empruntées, elle serait tenue de prendre à son compte la totalité ou une partie des frais dudit éclairage.

### INTERRUPTIONS DE L'EXPLOITATION

§ 20. — *a*) Le concessionnaire est tenu d'assurer pendant toute la durée du présent contrat un service régulier sur chaque ligne.

*b*) S'il suspend le service sans nécessité de force majeure ou sans autorisation spéciale de l'administration, pendant plus de deux mois, sur une ligne entière ou sur un tronçon de ligne, l'administration a le droit de lui retirer la concession de cette ligne ou de ce tronçon et d'exiger la remise en l'état primitif des rues, chemins et places empruntés ou de les faire remettre en état aux frais du concessionnaire.

*c*) L'administration peut également, en pareil cas, exploiter elle-même la ligne en question pendant le reste de la concession ou la faire exploiter par un autre entrepreneur.

Cette dernière disposition s'applique même au cas où l'interruption n'aurait lieu que sur une partie de ligne, auquel cas les clauses *a*) et *c*) du § 3 sont applicables.

### RÉCLAMATIONS

§ 21. — *a*) Le concessionnaire ne peut réclamer à la ville aucune indemnité pour les dommages qui pourraient être causés à ses installations, pendant ou après leur établissement ou en cours d'exploitation, par des accidents de quelque nature que ce soit survenus sur des parties du domaine de la ville empruntées par lesdites installations ou sur les parties de ce domaine occupées par des établissements publics ou privés, régulièrement autorisés à ce jour.

*b*) Si des tiers faisant usage de l'entreprise ou y étant employés ou attachés à un titre quelconque subissent des dommages par suite d'un des accidents spécifiés en *a*), le concessionnaire en est seul responsable et doit en supporter toutes les conséquences ; il est tenu de rembourser intégralement à la ville toute indemnité qu'elle aurait dû payer de ce chef.

*c*) Les clauses *a*) et *b*) s'appliquent aux réclamations que pourraient élever le concessionnaire ou des tiers (dans le sens de *b*) en se basant sur la loi du 11 mars 1850 concernant les indemnités aux victimes d'émeutes populaires.

Digitized by Google

*d*) Enfin, le concessionnaire est tenu de répondre, aux lieu et place de la ville, à toutes les réclamations que pourraient élever des tiers à l'occasion de la construction, de l'existence ou de l'exploitation de la ligne.

*e*) Dans tous les cas susvisés, si c'est la ville qui est elle-même l'objet des réclamations, il est expressément entendu que la fixation de l'indemnité, si elle a lieu par voie d'accord amiable, ne pourra se faire sans l'assentiment du concessionnaire et, si elle a lieu par voie judiciaire, sans que le concessionnaire ait eu connaissance des pièces du procès ; dans le cas contraire, la ville perdrait tout droit au remboursement de l'indemnité.

### RÈGLEMENTS ADMINISTRATIFS

§ 22. — Le concessionnaire n'est pas fondé à réclamer à l'occasion des dommages qui pourraient lui être causés dans l'usage ou l'exploitation de sa ligne par l'application de règlements ou l'exécution de travaux de la ville ou de toute autre administration.

### CROISEMENTS, RACCORDEMENTS ET EMPRUNT DE LA VOIE PAR LES VOITURES D'AUTRES LIGNES

§ 23. — Le concessionnaire doit consentir, sur la demande de l'administration municipale et sans qu'il puisse élever de ce chef aucune réclamation, à l'exécution de croisements et de raccordements avec sa ligne et à l'emprunt de ses voies par les voitures d'autres lignes.

L'emprunt d'une ligne est soumis aux conditions suivantes :

1. Un entrepreneur ne peut réclamer comme droit de passage plus de — pour chacune de ses lignes et plus de — pour l'ensemble ;

2. Ce droit une fois fixé subsiste même en cas de modification d'horaire.

Sous ces réserves, le concessionnaire doit autoriser l'exécution, aux frais de celui qui emprunte sa ligne, de tous les changements qui pourraient être nécessaires. Ce dernier est responsable de toutes les dégradations qu'il peut occasionner et est tenu, en outre, de contribuer proportionnellement aux frais d'entretien et d'amortissement des installations communes.

Tout différend qui s'élèverait à ce sujet entre les deux entrepreneurs sera tranché par l'administration municipale.

Le paiement de l'indemnité provisoirement fixée par celle-ci pourra être, sur la demande du concessionnaire, garanti par un dépôt fait par celui qui emprunte sa ligne.

Il est accordé aux deux parties un délai de quatre semaines pour interjeter appel contre la décision de l'administration devant un tribunal arbitral, constitué conformément aux prescriptions du § 33.

Sur les points où la ligne du concessionnaire se confond avec des tronçons de lignes concédées à d'autres entrepreneurs et sur ceux où plusieurs lignes nouvelles concédées à des entrepreneurs différents doivent emprunter la même rue, l'usage commun des voies est obligatoire.

Digitized by Google

### ENLÈVEMENT DES BOUES, IMMONDICES, ETC.

§ 24. — Le concessionnaire est tenu, si l'administration municipale le demande et moyennant le paiement d'une indemnité à fixer préalablement. d'autoriser la circulation sur ses voies pendant la nuit de voitures destinées à l'enlèvement des immondices, boues, ordures ménagères, etc., à l'exception des matières de vidange.

Il devra également autoriser éventuellement les transports funéraires.

### INTERDICTION DES ANNONCES

§ 25. — Il est interdit d'apposer des annonces ou des réclames aux fenêtres et à l'extérieur des voitures.

### HORAIRE ET TARIFS DE TRANSPORT

§ 26. — *a*) L'horaire doit être soumis à l'approbation de l'administration municipale. Les compagnies sont tenues d'augmenter la fréquence des départs sur certaines lignes, si l'administration estime que les besoins de circulation l'exigent.

*b*) Le tarif de transport ne devra pas excéder 0,10 mark par voyage.

Le concessionnaire est tenu :

1° De délivrer des cartes d'abonnement et scolaires à prix réduits;

2° D'organiser des départs matinaux pour les ouvriers et de délivrer des billets d'ouvriers à prix réduits aussi bien pour ces départs spéciaux que pour certains des départs réguliers du matin et du soir, si l'administration municipale en reconnaît la nécessité.

### RENSEIGNEMENTS A FOURNIR A L'ADMINISTRATION

§ 27. — L'entrepreneur est tenu de fournir à l'administration municipale tous les renseignements qu'elle pourra demander relativement à la construction et à l'exploitation de la ligne. Toute infraction à cette clause est passible d'une amende de 100 marks.

### RETRAIT DE LA CONCESSION

§ 28. — L'administration municipale peut, indépendamment des droits que lui confèrent les § 3, 8 et 20, opérer le retrait de la concession dans les cas suivants :

*a*) Si l'entrepreneur s'est mis deux fois en retard pour le paiement de la redevance stipulée au § 2 de plus d'un mois à dater du rappel qu'il aura reçu à l'échéance fixée à ce paragraphe;

*b*) Si le concessionnaire est déclaré en faillite.

Dans ces deux cas, l'administration a le droit d'exiger de l'entrepreneur la remise en l'état primitif des rues, chemins, places et autres terrains appartenant à la ville et l'enlèvement de tous les ouvrages et parties de voie qui y

Digitized by Google

sont incorporés ou, le cas échéant, de faire exécuter ces travaux aux frais de l'entrepreneur.

### DROITS DE L'ADMINISTRATION A L'EXPIRATION OU EN CAS DE RETRAIT DE LA CONCESSION

§ 29. — *a*) A l'expiration ou en cas de retrait de la concession :

1° Les parties de voie ferrée établies sur des chaussées entretenues par la ville et leurs accessoires, tels que poteaux, conducteurs électriques, etc., ainsi que les bureaux d'attente établis sur des terrains appartenant à la ville (§ 16), deviendront sans indemnité la propriété de la ville de Berlin;

2° La jouissance des brevets et licences relatifs à l'entreprise et appartenant au concessionnaire fera également retour à la ville sans indemnité;

3° La ville aura le droit, indépendamment de l'avantage que lui confère la clause précédente, d'exiger la cession de tous les droits résultant de contrats conclus par le concessionnaire et concernant l'entreprise, à condition de prendre en même temps à sa charge les obligations résultant de ces contrats;

*b*) L'administration municipale pourra aussi, à l'expiration ou en cas de retrait de la concession, ou bien au lieu d'user de la faculté précédente, exiger la remise en l'état primitif des rues empruntées par l'entreprise et l'enlèvement des parties de voie qui y sont incorporées ou faire exécuter ces travaux aux frais du concessionnaire.

Si la ligne comporte des prolongements établis sur des voies publiques dont l'entretien, en vertu du § 6 de la loi du 28 juillet 1892, incombe à des tiers, ceux-ci auront, à l'expiration ou en cas de retrait de la concession, les mêmes droits que ceux qui sont concédés à la ville de Berlin par le § 29, *a*). Les tiers intéressés auront également la faculté de conclure entre eux, sans la participation du concessionnaire et sans que ce dernier ait le droit d'intervenir, des conventions relatives à l'exercice de ces droits; les obligations du concessionnaire définies par le présent paragraphe restent d'ailleurs les mêmes vis-à-vis de la ou des personnes qui se seraient fait déléguer ou auraient acquis les droits de tous les autres intéressés.

La ville de Berlin conserve, en tout cas, la faculté de conclure des arrangements spéciaux avec les tiers intéressés et de se faire déléguer leurs droits.

### CAISSE DE RETRAITES

§ 30. — L'entrepreneur est tenu d'organiser, dans le délai de six mois à dater du jour de la conclusion du contrat, une caisse de retraites pour ses employés (cochers, receveurs, palefreniers, manœuvres, employés de bureau, etc.), conformément aux règles suivies dans les services de l'État et à des statuts qui devront être approuvés par l'administration municipale, ou bien d'adhérer à une caisse analogue existante.

### RÉTROCESSION DE L'ENTREPRISE

§ 31. — Le concessionnaire ne peut rétrocéder ses droits à un tiers sans le consentement de l'administration municipale.

Digitized by Google

### CAUTIONNEMENT

§ 32. — *a*) Comme garantie de l'exécution complète par le concessionnaire de toutes les clauses du présent contrat, la ville aura un droit de propriété sur tous les matériaux incorporés par lui dans les rues, chemins et places municipales; il devra en outre verser un cautionnement de — marks.

*b*) Ce cautionnement sera en titres agréés par l'administration municipale et sera déposé dans une caisse désignée à cet effet.

*c*) Dans le cas où l'administration serait obligée de se rembourser sur ce cautionnement, elle ferait vendre à la Bourse, au cours du jour, des titres jusqu'à concurrence de la somme nécessaire et ce sans autre formalité que d'en informer ensuite le concessionnaire.

Chaque fois que le cautionnement aura été ainsi entamé, il devra être immédiatement ramené par un nouveau versement au total de — marks.

### ARBITRAGES

§ 33. — Toutes les contestations auxquelles pourra donner lieu l'interprétation du présent contrat (à défaut d'une clause particulière établissant la compétence de l'administration municipale) seront soumises à un tribunal arbitral constitué conformément au § 851 de la loi du 30 janvier 1877, sans que d'ailleurs la décision de ce tribunal puisse porter atteinte aux droits conférés par la loi aux services de la police et à celui de contrôle de l'État. Seront également soumis à ce tribunal arbitral les cas dont la réglementation a été réservée pour une convention ultérieure, si les parties n'arrivaient pas à se mettre d'accord sur les termes de cette convention.

*a*) Chaque différend sera soumis à un tribunal arbitral spécial, composé de trois ou cinq membres, au choix de la partie qui aura provoqué sa constitution.

*b*) Cette partie choisit un ou deux arbitres et notifie son choix à l'autre partie, qui doit, dans le délai de quatre semaines à dater du jour de la notification, désigner un nombre d'arbitres égal.

*c*) Si la seconde partie ne choisit pas ses arbitres dans le délai prescrit, la première désigne elle-même les arbitres manquants.

*d*) La partie plaignante requiert ensuite les arbitres d'avoir à nommer un tiers arbitre dans le délai de quatre semaines à dater du jour de la requête.

*e*) Si la désignation de ce tiers arbitre n'est pas faite dans le délai prescrit, la même partie s'adressera soit au ministre des Travaux Publics, soit au ministre du Commerce et de l'Industrie, soit au directeur de l'École polytechnique de Charlottenburg pour faire nommer un tiers arbitre.

*f*) Si l'un des arbitres meurt ou fait défaut pour une cause quelconque ou bien refuse d'accepter le rôle d'arbitre, la partie qui l'aura désigné lui choisira un remplaçant au plus tard dans les quatre semaines qui suivront le jour où elle en aura été requise par l'autre partie.

Si cette désignation n'est pas faite dans le délai prescrit, les dispositions prévues en *c*) deviennent applicables.

Digitized by Google

*g*) Si le tiers arbitre meurt ou fait défaut pour une cause quelconque ou bien refuse d'accepter le rôle de tiers arbitre, la partie plaignante doit provoquer la désignation d'un autre tiers arbitre ; les dispositions prévues en *e*) trouvent encore, le cas échéant, leur application.

*h*) Les arbitres et le tiers arbitre ne peuvent être ni des fonctionnaires, ni des employés ou des serviteurs de l'une des parties contractantes.

### DROITS DE TIMBRE

§ 34. — Les droits de timbre auxquels donnera lieu le contrat seront à la charge du concessionnaire.

## I. — PIÈCES A FOURNIR A L'APPUI DES DEMANDES D'ÉTABLISSEMENT DE CANALISATIONS DE TRAMWAYS ÉLECTRIQUES

### PLAN D'ENSEMBLE ET MÉMOIRE EXPLICATIF

§ 1. — Les demandes d'établissement de canalisations de tramways électriques doivent être accompagnées d'un plan d'ensemble des installations projetées et d'un mémoire explicatif destinés à faire connaître exactement, par description et par représentation graphique des lignes desservies, le but des canalisations projetées.

Elles doivent, en outre, porter les indications suivantes :

Points de la ligne où l'on a supposé les voitures motrices placées pour le calcul. — Nombre total des voitures en circulation. — Consommation d'énergie par voiture en volts et en ampères. — Consommation totale d'énergie sur la ligne de tramway.

Nombre et emplacement des feeders d'alimentation et de retour. — Intensité de courant que devra transmettre chaque fil en ampères. — Charge maxima en ampères que peuvent supporter les conducteurs et pour laquelle ont été réglés les disjoncteurs automatiques ou les plombs de sûreté. — Chute de potentiel dans chaque feeder d'alimentation et de retour ; valeur du potentiel aux points où ces feeders sont reliés, soit aux conducteurs de service, soit aux rails.

Indications des parties de voies non utilisées pour le retour du courant. — Profil et section transversale des rails utilisés comme conducteurs de retour. — Mode d'éclissage des rails. — Indications des divers modes de jonctions simples ou transversales, des câbles distributeurs, etc., projetés en vue d'augmenter la conductance électrique des rails et des dispositifs prévus éventuellement pour décharger la voie dans le but d'élever ou d'abaisser artificiellement le voltage. — Résistance approximative par kilomètre de voie, y compris la résistance probable des joints.

Répartition des parafoudres sur la ligne et à la station. — Type et disposition des plaques de terre de ces parafoudres. — Autres données numériques utiles au point de vue du calcul et de la vérification de l'installation.

On indiquera, en outre, s'il y a lieu, quels sont les interrupteurs ou isolateurs

Digitized by Google

de sections qui sont ouverts ou fermés en service normal, c'est-à-dire si chaque feeder alimente seulement une section indépendante ou bien si les sections sont toutes mises en communication ininterrompue par l'emploi d'interrupteurs normalement fermés. Pour les portions de ligne exploitées autrement que par canalisation aérienne (indiquer si l'on doit employer le trôlet ou l'archet), par exemple pour les sections à distribution souterraine, on produira en outre tous les renseignements techniques nécessaires pour faire connaître le mode de fonctionnement et d'établissement du système projeté.

### PLANS DE DÉTAIL

§ 2. — Les demandes doivent être accompagnées des plans de détail à l'échelle de 1/500; on indiquera sur ceux-ci les voies, les canalisations et toutes les parties accessoires de l'installation avec leur emplacement exact, leur nombre et leurs dimensions. On indiquera également le genre de conducteurs employés (matériaux).

### ALIMENTATION DES LIGNES

§ 3. — On devra spécifier dans le projet si la nouvelle canalisation sera alimentée par une dérivation prise sur une canalisation déjà existante ou par un feeder spécial partant de l'usine centrale ; on indiquera également la station par laquelle sera fourni le courant.

### LIGNES EXISTANT DANS LE VOISINAGE

§ 4. — Le projet devra aussi indiquer s'il existe dans le voisinage des lignes de tramway projetées d'autres lignes à niveau exploitées électriquement, quelles sont ces lignes et les dispositions prévues pour parer éventuellement aux effets nuisibles des courants de terre des lignes en question.

### PLANS D'EXÉCUTION

§ 5. — Après l'achèvement d'une ligne, l'entrepreneur remettra à l'administration municipale un plan récapitulatif comprenant tous les travaux réellement exécutés ; il devra également lui adresser en janvier et juillet de chaque année une note indiquant les travaux encore inachevés, les causes du retard et les délais nécessaires pour leur achèvement.

## REMARQUE

Les dispositions contenues dans les règlements II et III ci-après s'appliquent plus spécialement aux tramways électriques à canalisation aérienne avec retour par les rails.

Digitized by Google

## II. — RÈGLEMENT RELATIF A L'ÉTABLISSEMENT DES TRAMWAYS ÉLECTRIQUES

### A. — Feeders d'alimentation et de retour

Tous les feeders d'alimentation et de retour, c'est-à-dire les conducteurs destinés à relier, directement ou indirectement, les fils de contact et de service aériens ou les rails à la station centrale, doivent être des câbles armés, à enveloppe de plomb et armature en feuillard de fer, posés dans le sol conformément aux prescriptions ci-dessous.

Toute exception à cette règle doit être spécialement autorisée par l'administration municipale.

#### EMPLACEMENT DES CABLES

§ 6. — En principe les câbles doivent être posés sous les trottoirs. Lorsque, pour une raison quelconque, il sera impossible de se conformer à cette règle, leur emplacement devra être déterminé après entente avec le service de la voirie.

#### PROFONDEUR DE POSE DES CABLES

§ 7. — En principe, les câbles doivent être posés à 0,70 — 0,75 m. de profondeur au-dessous du sol.

S'ils sont placés à moins de 0,50 m. de profondeur, ils devront être protégés contre toute abrasion mécanique par une enveloppe non métallique (tuyaux en poterie ou en bois imprégné, etc.).

#### DISTANCE A RÉSERVER ENTRE LES CABLES ET LES AUTRES CANALISATIONS

§ 8. — Les câbles de tramway doivent être séparés par un intervalle d'au moins 0,30 m. des autres masses métalliques disposées parallèlement (conduites, câbles pour courants à basse tension, boites, etc.) et par un intervalle d'au moins 0,15 m. des câbles appartenant à d'autres sociétés électriques berlinoises; ils doivent autant que possible être placés plus près de la bordure du trottoir et doivent, en outre, présenter des signes distinctifs qui permettent de les reconnaître facilement des câbles à lumière.

L'intervalle à réserver aux points de croisement des câbles de tramways avec d'autres canalisations métalliques ne doit pas être inférieur à 0,10 m.

#### ISOLEMENT SUPPLÉMENTAIRE DES CABLES

§ 9. — Si les prescriptions du § 8 relatives aux distances minima à réserver ne peuvent être remplies, on interposera entre les câbles et les autres masses conductrices voisines des plaques de grandeur et de forme appropriées, en argile vitrifié ou en tout autre isolant, entourant partiellement les câbles ou les conduites.

Digitized by Google

### PROTECTION DES CABLES A LEURS POINTS DE SORTIE

§ 10. — Les câbles doivent être protégés non seulement contre les abrasions qui pourraient leur être causées pendant les travaux de terrassement exécutés dans les rues, mais encore contre toute dégradation à leurs points de sortie (près des poteaux, par exemple).

### POINTS DE JONCTION ET DE BRANCHEMENT

§ 11. — Les dispositions des bifurcations, des jonctions des feeders avec les fils aériens et d'une manière générale de tous les nœuds importants du réseau, doivent être telles que les connexions et leur vérification puissent se faire sans nécessiter chaque fois des travaux de terrassement.

### ISOLEMENT

§ 12. — La résistance d'isolement des câbles doit être celle exigée ordinairement pour les câbles à haute tension et atteindre au moins 10 mégohms par kilomètre de câble souterrain simple sous le voltage normal de la ligne.

### DISJONCTEURS AUTOMATIQUES ET PLOMBS DE SURETÉ

§ 13. — Les conducteurs doivent être protégés contre les courants trop intenses par des plombs fusibles, disjoncteurs automatiques ou autres dispositifs analogues.

### EMPLOI DE TUBES DE PROTECTION AUX CROISEMENTS DE RUES

§ 14. — A tous les croisements de rues, les câbles seront enfermés dans des tubes de fer de résistance appropriée, destinés à les protéger en cas d'ouverture de la chaussée.

### SUPERPOSITION DE PLUSIEURS TUBES

§ 15. — En cas de superposition de plusieurs tubes, on n'emploiera que des supports massifs en fonte.

### BOITES DE JONCTION

§ 16. — Les boites de jonction et regards correspondants doivent être établis parallèlement à l'axe de la rue, sans être superposés à des regards de canalisations de gaz et d'eau.

A moins d'être en fonte, avec leur fond et leurs parois latérales coulés d'une seule pièce, les boîtes de jonction seront revêtues à l'extérieur d'une couche de mortier de ciment ; les fentes et interstices seront soigneusement bouchés et le fond sera dallé en briques cimentées.

Afin de constater à temps la présence de gaz à l'intérieur des boites, on organisera un service régulier de visites à des intervalles assez rapprochés.

Digitized by Google

dans lesquelles on vérifiera s'il n'existe pas d'accumulation de gaz et on aérera convenablement les tubes. On devra en outre, au moment de la construction, prendre les dispositions nécessaires pour assurer la bonne aération et la visite facile des boites.

### DÉMONTAGE ET RÉFECTION DU PAVAGE

§ 17. — Le démontage et la réfection du pavage des trottoirs qui ne sont pas encore pavés définitivement seront effectués par les soins des entrepreneurs correspondants.

### EXÉCUTION DES FOUILLES

§ 18. — Les fouilles nécessaires pour la pose des câbles doivent être attaquées à la fois sur toute leur longueur ; il est notamment interdit de laisser de distance en distance des bandes étroites de terre servant de passerelles.

### PAVAGE DES TROTTOIRS

§ 19. — Lorsque l'entrepreneur démontera un trottoir dont le pavage est en mauvais état, il devra inviter les propriétaires[1] à constater l'état de ce pavage et consigner les résultats de cette constatation dans un procès-verbal contradictoire pour éviter toute réclamation ultérieure.

### REMPLISSAGE DES FOUILLES ET REFECTION DU PAVAGE DES TROTTOIRS

§ 20. — Le remplissage des fouilles et la réfection du pavage des trottoirs doivent s'exécuter conformément aux prescriptions suivantes :

*a*) A moins que la terre retirée des fouilles ne soit du sable pur, elle ne peut être utilisée pour leur remplissage, qui doit se faire exclusivement avec du sable.

*b*) Le remplissage des fouilles sera exécuté par couches successives de 0,15 m. d'épaisseur au plus ; chaque couche devra être convenablement arrosée et pilonnée. Les intervalles entre les tubes contenant les câbles seront l'objet d'une attention toute particulière.

*c*) Pour la réfection du pavage l'entrepreneur se conformera rigoureusement aux prescriptions du service de la voirie.

La fourniture de matériaux neufs (pavés, gravier, pierres, sable, etc.) destinés à couvrir les déchets provenant de la démolition et du rétablissement du pavage, ainsi que le remplacement des dalles et bordures de trottoirs brisées sont à la charge de l'entrepreneur.

*d*) Si le trottoir sous lequel doit être posé le câble et la chaussée y attenante ont un revêtement imperméable et que la fouille soit creusée tout près de la bordure du trottoir, on devra, en refaisant le pavage, remplacer le revêtement primitif sur une bande de 0,50 m. à 1 m. de largeur par un pavage en mosaïque séparé du reste du trottoir par une murette en béton de 8 à 10 cm. de largeur

[1] A Berlin, les trottoirs sont à la charge des propriétaires riverains.

Digitized by Google

sur 16 cm. de hauteur. Les matériaux non utilisés devront être remis gratuitement à leurs propriétaires.

Le pavage en mosaïque sus-indiqué devra, à moins de stipulations contraires, avoir une largeur de 0,50 m. dans les trottoirs de moins de 4 m. de largeur et de 1 m. dans ceux de plus de 4 m. de largeur.

### RÉFECTION DU PAVAGE DE LA CHAUSSÉE

§ 21. — Dans les rues pavées définitivement (pavage en pierre de la Ire à la IIIe catégorie, pavage en bois ou en asphalte) le démontage et la réfection du pavage sont exécutés par le service de la voirie aux frais de l'entrepreneur.

Ce n'est qu'exceptionnellement, en cas d'urgence ou de danger, que les entrepreneurs sont autorisés à démonter eux-mêmes un pavage définitif et, dans ce cas, ils doivent en aviser sans retard le service de la voirie. Quant à la réfection du pavage, elle ne peut en aucun cas être faite par d'autres que par ce service.

### AVIS CONCERNANT LES TRAVAUX A EXÉCUTER DANS LES RUES

§ 22. — Les entrepreneurs sont tenus de prévenir par écrit, trois jours à l'avance, le service de voirie intéressé de tous les travaux qu'ils doivent effectuer sur les trottoirs ou sur les chaussées. L'avis devra spécifier l'emplacement des travaux projetés, indiquer s'ils doivent avoir lieu sur la chaussée ou sur le trottoir et, dans le cas d'un pavage définitif, si celui-ci est en pierre, asphalte ou bois; on devra envoyer un avis semblable pour chaque chantier séparé.

### ENTRETIEN DU PAVAGE

§ 23. — Les entrepreneurs sont responsables de l'entretien du pavage au-dessus des tranchées de câbles pendant les trois années qui suivent la pose de ceux-ci.

## *B.* — Conducteurs aériens et accessoires

### POTEAUX ET APPAREILS DE SUSPENSION

§ 24. — La forme et la disposition des appareils de suspension des fils aériens, etc., doivent satisfaire aux prescriptions des services administratifs compétents.

### PROTECTION DES CANALISATIONS A COURANT FAIBLE

§ 25. — Pour la protection des fils télégraphiques et téléphoniques voisins de la ligne de tramway, on se conformera aux prescriptions de la loi sur les télégraphes et aux règlements de la direction des postes et télégraphes.

### MESURES DE PRÉCAUTION CONTRE LA CHUTE DES FILS AÉRIENS

§ 26. — Des mesures de précaution doivent être prises pour parer aux dangers résultant de la chute, de la rupture ou de l'amincissement (par suite d'une tension exagérée) des fils aériens parcourus par le courant.

Digitized by Google

### SECTIONNEMENT DES FILS AÉRIENS

§ 27. — En cas de troubles sur une section de la ligne (par exemple en cas d'incendie, de chute d'une maison, etc.), on doit pouvoir séparer cette section du reste du réseau en la mettant immédiatement hors circuit. Dans ce but on installera sur les poteaux ou, quand cela sera possible, contre le mur des maisons des interrupteurs, aux emplacements suivants : d'une manière générale auprès des embranchements et croisements, et en outre tous les 500 m. environ dans les alignements droits et tous les 500 m. au moins dans les courbes, sous réserve d'une détermination plus exacte de ces emplacements lors de l'approbation du projet.

Les interrupteurs devront être mis à l'abri des dégradations volontaires ou des manœuvres intempestives par des boîtes fermées à clef. En dehors des agents de la ligne et de ceux du service municipal de la voirie, l'entrepreneur devra remettre les clefs de ces boîtes aux autres services intéressés (pompiers, police) pour leur permettre de mettre éventuellement sans retard hors circuit les sections à isoler.

### PARAFOUDRES

§ 28. — La ligne doit être protégée contre les décharges atmosphériques par des parafoudres de construction éprouvée et convenablement distribués.

Comme prise de terre pour les parafoudres on peut employer soit les rails eux-mêmes, mais sous réserve de l'assentiment du service de la police, soit des plaques de terre spéciales pour chaque parafoudre ; ces plaques doivent être séparées par un intervalle d'au moins 1 m. de tout tuyau ou conduite métallique souterrain, et sa résistance de passage à la terre ne doit pas dépasser 5 ohms.

## *C.* — Retour du courant, feeders de retour et jonctions électriques des rails

### FEEDERS DE RETOUR

§ 29. — A moins de prescriptions contraires, les dispositions énoncées en *A* et concernant les feeders souterrains en général s'appliquent aux feeders de retour, qui relient les rails à la station centrale. Ces derniers doivent être posés sous les trottoirs à côté des feeders d'alimentation de la ligne aérienne.

### JONCTIONS ÉLECTRIQUES DES RAILS

§ 30. — Les conducteurs de faible longueur qui servent uniquement à accroître la conductance des rails ou à relier entre eux des rails ou des parties de voies peuvent être posés directement dans la chaussée tout contre ou entre les rails.

Si ces conducteurs devaient passer en dehors de la zone occupée par les voies, une autorisation spéciale serait nécessaire.

Digitized by Google

### MISE HORS CIRCUIT DES FEEDERS DE RETOUR

§ 31. — Les feeders de retour doivent aboutir à des boîtes spéciales installées sous les trottoirs au droit des points d'alimentation des rails et permettant d'isoler à tout moment un câble du reste du circuit sans être obligé d'ouvrir une tranchée. Des conducteurs établis à demeure sous la chaussée mettent les rails en communication avec les boîtes de jonction.

En outre, des regards établis à tous les points de bifurcation des câbles doivent faciliter la mise hors circuit de leurs différents tronçons.

### PROTECTION DES CABLES A LEURS POINTS DE JONCTION

§ 32. — Les dispositions du § 34 s'appliquent aux mesures de protection à prendre aux points de jonction des câbles avec les rails.

### ISOLEMENT DES FEEDERS DE RETOUR

§ 33. — La résistance d'isolement des feeders de retour doit être d'au moins 100 000 ohms par kilomètre de câble simple, pour des tronçons d'au moins 50 mètres de longueur.

### RETOUR PAR LES RAILS

§ 34. — Les rails servant au retour du courant ne doivent présenter qu'une faible résistance électrique.

Les jonctions électriques des rails et leurs connexions avec les feeders de retour doivent être exécutées très solidement au point de vue mécanique et être autant que possible à l'abri de l'humidité et des actions chimiques.

### LIAISONS TRANSVERSALES ENTRE LES RAILS

§ 35. — Pour assurer la continuité du circuit formé par les rails, on reliera tous les 30 mètres les deux files de rails par des conducteurs transversaux de section telle que leur résistance électrique ne dépasse pas celle d'une jonction de rails.

### LIAISONS TRANSVERSALES ENTRE LES VOIES

§ 36. — Sur les lignes à double voie, on réunira les deux voies, au moins tous les 100 mètres, par des liaisons transversales de résistance électrique au plus égale à celle d'une jonction de rails.

### AIGUILLES, COURBES, CROISEMENTS

§ 37. — Aux aiguillages, dans les courbes, aux croisements, ainsi qu'aux points où les masses métalliques souterraines sont particulièrement exposées à l'action des courants de terre, on devra, sur la demande de l'administration

Digitized by Google

municipale, relier entre elles les diverses voies par des conducteurs métalliques de résistance appropriée.

MISE A LA TERRE DES RAILS

§ 38. — La mise à la terre des rails par l'intermédiaire de conduites ou d'autres masses métalliques est absolument interdite, de même que l'emploi des prises de terre artificielles.

## III. — RÈGLEMENT RELATIF A L'EXPLOITATION DES TRAMWAYS ÉLECTRIQUES

LIMITES DES COURANTS DE TERRE

§ 39. — L'administration municipale se réserve de procéder, pendant le premier mois qui suivra la mise en service de la ligne, à des mesures électriques en vue de déterminer les différences de potentiel et les courants de terre en divers points de la ligne et d'en fixer les limites admissibles ; elle fixera en même temps les dates auxquelles on devra procéder aux essais de contrôle régulier et en adresser les résultats à l'administration. Le concessionnaire sera tenu de se conformer strictement à toutes les prescriptions de l'administration municipale à ce sujet.

POLARITÉ DES RAILS

§ 40. — Les rails devront, sauf autorisation spéciale, être reliés au pôle négatif des dynamos.

MESURES DE LA RÉSISTANCE DES RAILS

§ 41. — Pour s'assurer de la valeur et de l'invariabilité de la conductibilité électrique des rails, on pourra procéder, le cas échéant, avant leur pose définitive, à des mesures de résistance électrique ; on devra en tout cas, après la mise en exploitation, faire des mesures régulières de courant et de différence de potentiel en différents points du retour.

MESURES DE LA RÉSISTANCE DE PASSAGE DES RAILS A LA TERRE

§ 42. — L'entrepreneur est tenu de procéder, sur la demande de l'administration municipale, partout où ce sera nécessaire, à des mesures destinées à faire connaître approximativement la résistance électrique de passage des rails à la terre et la valeur des courants de perte ; en particulier, en cas de troubles dans des installations voisines, il doit procéder immédiatement à ces mesures aux points où les troubles se manifestent, ainsi qu'aux autres points caractéristiques de la ligne, en séparant au besoin le tronçon de voie correspondant du reste du réseau.

Si les valeurs de la résistance de passage des rails à la terre sont telles que la mesure régulière de la valeur absolue de la résistance de l'ensemble et l'ob-



Digitized by Google

servation de ses variations soient possibles et utiles, l'entrepreneur est tenu d'installer à ses frais, sur la demande de l'administration, soit à l'usine, soit en tout autre point désigné, les appareils nécessaires.

Les prises de terre de la station centrale destinées à ces mesures ne doivent être mises en circuit que pendant le temps des mesures ; en temps ordinaire, elles doivent être isolées du reste de la ligne conformément au § 38.

### TROUBLES CAUSÉS PAR LES LIGNES DE TRAMWAY VOISINES

§ 43. — Si les courants de terre d'une ligne de tramway nouvellement mise en service viennent renforcer ceux de lignes existantes de façon que l'intensité totale de ces courants dépasse les limites fixées conformément au § 39, les frais des mesures de protection qui pourront être prescrites dans ce cas par l'administration seront à la charge du concessionnaire de la nouvelle ligne.

### CONTRÔLE DES DIFFÉRENCES DE POTENTIEL ENTRE LES RAILS ET LA TERRE

§ 44. — Le concessionnaire est tenu de prendre, sur la demande de l'administration, les dispositions nécessaires pour contrôler d'une façon régulière les différences de potentiel entre les conduites métalliques souterraines et les rails, partout où ces différences dépassent les limites fixées au § 39.

### COURANTS DE TERRE EXAGÉRÉS

§ 45. — Lorsque les mesures prescrites ci-dessus dénoteront des différences de potentiel et des courants de terre dépassant les valeurs fixées au § 39. l'entrepreneur sera tenu de prendre immédiatement et à ses frais les dispositions nécessaires pour remédier à ce défaut.

### SIGNALEMENT DES TROUBLES

§ 46. — En cas d'irrégularité, de trouble ou de défaut quelconque survenu dans l'exploitation de la ligne, le concessionnaire est tenu d'en aviser immédiatement l'administration municipale en faisant connaître les mesures prises pour y remédier.

### RENSEIGNEMENTS CONCERNANT L'EXPLOITATION

§ 47. — Le concessionnaire est tenu de fournir chaque année à l'administration municipale, au plus tard dans les trois mois qui suivent la clôture de l'exercice, les renseignements ci-après concernant l'exploitation de ses lignes :

*a*) Nombre moyen de voitures motrices et remorquées en service pendant l'année ;

Nombre minimum et maximum de voitures en service pendant l'année. avec indication des dates correspondantes ;

*b*) Nombre total de voitures-kilomètres parcourus ;

Nombre minimum et maximum de voitures-kilomètres parcourus journellement ;

Digitized by Google

*c*) Résistance des prises de terre des parafoudres, s'ils ont des plaques de terre spéciales.

Ces mesures doivent être faites au printemps de chaque année à l'aide de courants alternatifs (méthode téléphonique ou autre).

*d*) Différences constatées entre les valeurs réelles du voltage et du courant et les valeurs prévues par le projet.

## IV. — DISPOSITIONS CONCERNANT LES TRAMWAYS A DISTRIBUTION SOUTERRAINE

Les prescriptions qui précèdent s'appliquent dans leur esprit aux tramways avec prise de courant souterraine.

## V. — MODIFICATIONS ÉVENTUELLES AUX RÈGLEMENTS PRÉCÉDENTS

Le concessionnaire est tenu de se conformer à toutes les modifications que l'administration municipale jugerait utile d'introduire dans les dispositions des règlements I à III.

---

Digitized by Google

## ANNEXE N° 26

### LOI DU 25 JUIN 1895

CONCERNANT

# L'ÉTABLISSEMENT DES CONDUCTEURS D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

AUTRES QUE LES CONDUCTEURS TÉLÉGRAPHIQUES ET TÉLÉPHONIQUES

Le Sénat et la Chambre des députés ont adopté,

Le Président de la République promulgue la loi dont la teneur suit :

ARTICLE PREMIER. — En dehors des voies publiques, les conducteurs électriques qui ne sont pas destinés à la transmission des signaux et de la parole, et auxquels le décret-loi du 27 décembre 1851 n'est pas dès lors applicable, pourront être établis sans autorisation, ni déclaration.

ART. 2. — Les conducteurs aériens ne pourront être établis dans une zone de 10 mètres en projection horizontale de chaque côté d'une ligne télégraphique ou téléphonique sans entente préalable avec l'administration des postes et des télégraphes.

En conséquence, tout établissement de conducteurs dans les conditions du paragraphe précédent devra faire l'objet d'une déclaration préalable adressée au préfet du département et au préfet de police dans le ressort de sa juridiction. Cette déclaration sera enregistrée à sa date et il en sera donné récépissé. Elle sera communiquée sans délai au chef du service local des postes et télégraphes et transmise par les soins de ce dernier à l'administration centrale.

Le département des postes et télégraphes devra notifier, dans un délai de trois mois à partir de la déclaration, l'acceptation du projet présenté ou les modifications qu'il réclame dans l'établissement des conducteurs aériens.

En cas de non-entente, les conducteurs aériens seront établis conformément à la décision du ministre du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes et après avis du Comité d'Électricité visé par l'article 6 ci-dessous.

En cas d'urgence et en particulier dans le cas d'installation temporaire, le délai de trois mois prévu au troisième paragraphe du présent article pourra être abrégé.

ART. 3. — Le ministre, après avis du Comité d'Électricité, détermine les modifications à apporter, pour garantir les lignes, aux conducteurs existant actuellement dans la zone ci-dessus, et cela sous réserve des droits qui pourraient être acquis. Le département des postes et des télégraphes avisera, dans un délai de six mois au plus à partir de la promulgation de la présente loi, les exploitants dont les conducteurs devraient être modifiés. Ceux qui font usage de ces conducteurs sont tenus de se conformer aux prescriptions ministérielles dans un délai maximum d'un an à partir d'une mise en demeure adressée par le département des postes et des télégraphes.

Digitized by Google

ART. 4. — Aucun conducteur ne peut être établi au-dessus ou au-dessous des voies publiques sans une autorisation donnée par le préfet, sur l'avis technique des ingénieurs des postes et des télégraphes, et conformément aux instructions du ministre du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes.

ART. 5. — Les dispositions ci-dessus ne concernent pas les installations de conducteurs d'énergie électrique faites pour les besoins de leur exploitation par les administrations de l'État ou par les entreprises de services publics soumises au contrôle de l'administration.

Les projets de ces installations électriques ainsi que toutes les modifications qui y sont apportées devront, sauf lorsqu'ils concerneront les chemins de fer et les voies navigables, être soumis à l'approbation du ministre des Postes et des Télégraphes, après examen en conférence par les services intéressés.

ART. 6. — Il sera formé, près le ministère du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes, un Comité d'Électricité permanent, composé, pour une moitié, de représentants professionnels des grandes industries électriques de France ou des industries faisant usage des application de l'électricité.

Les membres de ce Comité et son président seront nommés par le ministre. Le président sera choisi en dehors des membres du Comité.

Le Comité d'Électricité donnera son avis sur les règles générales applicables dans les cas visés aux articles 4 et 5 ci-dessus et sur toutes les questions qui lui seront soumises par le ministre.

ART. 7. — Toute installation électrique devra être exploitée et entretenue de manière à n'apporter, par induction, dérivation ou autrement, aucun trouble dans les transmissions télégraphiques ou téléphoniques par les lignes préexistantes.

Lorsque l'installation exigera, dans ce but, le déplacement ou la modification des lignes télégraphiques ou téléphoniques préexistantes, le Comité d'Électricité sera consulté conformément aux articles 2, 3 et 6 ci-dessus. Les frais nécessités par ces déplacements ou modifications seront à la charge de l'exploitant.

ART. 8. — Quiconque aura contrevenu aux dispositions de la présente loi ou des règlements d'exécution sera, après une mise en demeure non suivie d'effet, puni des pénalités portées à l'article 2 du décret-loi du 27 décembre 1851.

Les contraventions seront constatées, poursuivies et réprimées dans les formes déterminées par le titre V dudit décret.

ART. 9. — Le décret du 15 mai 1888 est abrogé.

La présente loi, délibérée, est adoptée par le Sénat et la Chambre des députés, sera exécutée comme loi de l'État.

Fait à Paris, le 25 juin 1895.

Par le Président de la République :

Félix FAURE.

*Le ministre du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes,*

André LEBON.

---

Digitized by Google

## ANNEXE N° 27

### EXTRAITS DE L'ORDONNANCE GÉNÉRALE DE POLICE
DU 31 AOUT 1897
CONCERNANT
### LA CONDUITE ET LA CIRCULATION
# DES APPAREILS DE LOCOMOTION DE TOUTE SORTE
DANS PARIS
ET LES COMMUNES DU RESSORT DE LA PRÉFECTURE DE POLICE[1]

## TITRE V
## Voitures à traction mécanique

### CHAPITRE PREMIER
### TRAMWAYS

#### § 1. — VOIE ET MATÉRIEL

ART. 293. — *Entretien de la voie et du matériel.* — L'exploitation des lignes de tramways à traction mécanique est assujettie aux conditions suivantes, pour les sections comprises dans le ressort de la Préfecture de Police :

La voie ferrée et tout le matériel servant à l'exploitation seront constamment maintenus dans un bon état d'entretien et de propreté, de manière que la circulation soit toujours facile et sûre.

ART. 294. — *Sécurité de la circulation.* — Les compagnies seront tenues de prendre, à leurs frais, partout où la nécessité en sera reconnue par nous, sur l'avis du contrôle et eu égard au mode d'exploitation employé, les mesures nécessaires pour assurer la liberté et la sécurité du passage des voitures et des trains sur la voie ferrée et celle de la circulation ordinaire sur les routes et chemins que suit ou traverse la voie ferrée.

ART. 295. — *Signaux.* — *Éclairage des travaux.* — Lorsqu'un atelier de réparation sera établi sur une voie, des signaux devront indiquer si l'état de la voie ne permet pas le passage des voitures ou des trains ou s'il suffit de ralentir la marche.

Toute fouille restant ouverte et tout dépôt de matériaux sur la voie ferrée seront éclairés et gardés au besoin pendant la nuit.

ART. 296. — *Interruption du service.* — *Transbordement.* — En cas d'interruption de la voie ferrée pour une cause quelconque, les compagnies pourront être tenues de rétablir provisoirement les communications, soit en déplaçant momentanément leurs voies, soit en empruntant pour la traversée de l'obstacle des voitures ordinaires.

ART. 297. — *Matériel roulant.* — *Gabarit.* — Le matériel roulant qui sera

[1] Nous ne reproduisons ici que les parties de ce règlement applicables aux voitures électriques.

Digitized by Google

mis en circulation sur les tramways à traction mécanique devra passer librement dans le gabarit dont les dimensions sont fixées conformément aux clauses des cahiers de charges annexés aux décrets de concession.

ART. 298. — *Dimensions du matériel roulant.* — La largeur des locomotives et des caisses des véhicules ainsi que de leur chargement ne peut excéder ni deux fois et demie la largeur de la voie, ni la cote maximum de deux mètres quatre-vingts centimètres (2,80 m.) et la largeur extrême occupée par le matériel roulant, y compris toutes saillies, notamment celles des lanternes et des marchepieds latéraux, ne peut dépasser la largeur des caisses augmentée de trente centimètres (0,30 m.)

La hauteur du matériel roulant et de son chargement ne peut excéder quatre mètres vingt centimètres (4,20 m.) pour la voie de un mètre quarante-quatre centimètres.

Le matériel roulant sera construit de telle sorte qu'il reste un intervalle libre d'au moins cinquante centimètres dans l'entre-voie entre les parties les plus saillantes de deux véhicules qui se croisent dans les parties à deux ou plusieurs voies.

ART. 299. — *Autorisation.* — Aucune machine, remorqueuse ou automobile, et aucune voiture d'attelage ne peuvent être mises ou maintenues en circulation sur les lignes de tramways sans une autorisation délivrée par nous, sur la demande des compagnies. Cette autorisation peut, à toute époque, être révoquée par nous, sur la proposition des ingénieurs du contrôle des tramways.

Les compagnies intéressées seront toujours entendues.

ART. 300. — *Demande d'autorisation.* — La demande en autorisation prévue à l'article précédent sera établie en double expédition, dont une sur papier timbré.

Elle devra faire connaître :

1° Les principales dimensions et le poids du véhicule, le poids de ses approvisionnements et la charge maximum par essieu ;

2° La description du système moteur, la spécification des matières productrices de l'énergie et de leurs conditions d'emploi, la définition des organes d'arrêt et d'avertissement ;

3° Les noms et domiciles des constructeurs du véhicule, des appareils moteurs et des organes d'arrêt ;

4° Les épreuves et vérifications auxquelles ont pu être soumises les différentes parties de cet ensemble ;

5° Le numéro distinctif du véhicule ;

6° La ligne à laquelle il sera affecté ;

7° Le lieu du dépôt ou de la remise.

La demande sera accompagnée des dessins complets du véhicule, du système moteur et des appareils d'arrêt.

ART. 301. — *Examen et réception des appareils.* — Cette demande sera communiquée à l'ingénieur en chef des ponts et chaussées du département de la Seine, chargé du contrôle des tramways.

Ce chef de service visitera ou fera visiter le véhicule aux fins de s'assurer notamment s'il satisfait aux conditions de construction ci-après indiquées et si son emploi n'offre aucune cause particulière de danger.

Digitized by Google

Il procédera ou fera procéder à une ou plusieurs expériences pour apprécier le fonctionnement du moteur et vérifier directement l'efficacité des appareils d'arrêt.

L'ingénieur en chef du contrôle devra s'assurer que les véhicules sont disposés de telle sorte que leur circulation sur les voies qu'ils sont appelés à suivre ne puisse pas devenir une cause de danger pour la circulation en général, ni de détérioration pour les ouvrages dépendant desdites voies ou pour les voies elles-mêmes.

ART. 302. — *Conditions d'autorisation.* — L'autorisation déterminera les conditions particulières auxquelles les compagnies seront soumises, sans préjudice de l'obligation de se conformer aux règlements d'administration publique, aux prescriptions de la présente ordonnance qui leur sont applicables et à tous les autres règlements intervenus ou à intervenir.

ART. 303. — *Livret d'autorisation.* — L'autorisation sera délivrée sur un livret spécial contenant par extrait le texte de la présente ordonnance.

ART. 304. — *Transfert. — Modifications.* — En cas de transfert d'une machine d'une compagnie à l'autre, d'inexécution des épreuves ou vérifications prescrites par les règlements, ou de changements relatifs aux énonciations de l'autorisation, cette dernière est caduque de plein droit et le véhicule ne peut être maintenu en service sans nouvelle autorisation.

## § 2. — MACHINES

### A. — Dispositions générales.

ART. 305. — *Construction.* — Les machines, remorqueuses ou automobiles, de tous systèmes de traction mécanique, seront construites suivant les règles de l'art ; elles ne devront, selon l'espèce, donner aucune mauvaise odeur ou répandre sur la voie publique ni flammèches, ni escarbilles, ni cendre, ni fumée, ni eau, ni huile ou graisse, ni aucun produit pouvant causer une explosion.

. . . . . .

Les types des machines, remorqueurs ou automobiles, leur poids et leur maximum de charge par essieu, le rayon minimum des courbes dans lesquelles ces voitures devront pouvoir circuler facilement seront approuvés par nous, sur l'avis des ingénieurs du contrôle, eu égard aux besoins de l'exploitation ou de la circulation et à la nature ainsi qu'à l'état de la voie.

ART. 306. — *Freins.* — Les machines, remorqueuses ou automobiles, seront pourvues de freins assez puissants pour que, lancées sur une pente de deux centimètres par mètre, avec une vitesse de vingt kilomètres à l'heure, elles puissent être arrêtées, sans le secours des freins des voitures remorquées, sur un espace de vingt mètres au plus.

Les trains seront munis de freins agissant sur tous les essieux et pouvant être manœuvrés de deux manières indépendantes l'une de l'autre, savoir : 1° par le mécanicien ou son aide, au moyen d'un appareil continu ; 2° pour chaque véhicule, au moyen de commandes placées à la portée des agents de ces voitures.

Digitized by Google

Le frein continu devra être exempt de tout danger de raté, quelle que soit la température.

Les freins seront toujours maintenus en parfait état. Ils seront disposés de manière à pouvoir être actionnés instantanément à un moment quelconque.

Les machines, remorqueuses ou automobiles, seront pourvues de moyens nécessaires pour maintenir le frottement sur les rails, quel que soit l'état de ces derniers, à une valeur suffisamment élevée pour que les conditions d'arrêt exigées par le présent article soient remplies en toutes circonstances, même en cas de dérive.

Art. 307. — *Installation des dispositifs de sécurité.* — Tous les organes nécessaires au bon fonctionnement pour la marche et pour l'arrêt de la machine..... seront disposés de façon que le mécanicien.. .. ou l'aide-mécanicien puisse les manœuvrer ou les consulter facilement sans cesser de surveiller la voie en avant de la machine.

Les appareils à consulter seront éclairés pendant la nuit.

Art. 308. — *Chasse-corps.* — Toutes les machines, toutes les voitures d'attelage, toutes les automobiles et tous les remorqueurs seront pourvus de chasse-corps reconnus efficaces.

Art. 309. — *Mode de fonctionnement.* — Le fonctionnement des appareils à moteur mécanique doit être de nature à ne pas incommoder les riverains ou les piétons et à ne pas effrayer les chevaux, soit par les vapeurs ou fumées émises, soit par les bruits produits, soit par toute autre cause.

Art. 310. — *Entretien.* — *Visites périodiques.* — Les divers véhicules à moteur mécanique et leurs organes, les différents appareils de sûreté, les chasse-corps, les freins et leur système de commande ainsi que les essieux seront constamment entretenus en bon état de service.

A cet effet, les compagnies devront faire procéder, à des intervalles rapprochés et par des personnes compétentes, à des visites complètes, tant intérieures qu'extérieures, et les réparations nécessaires seront exécutées conformément aux règles de l'art.

Les mentions de visites seront signées par la personne qui y aura procédé

Ces visites et ces réparations seront inscrites en détail sur le livret spécial spécifié à l'article 303 et qui sera présenté à toutes réquisitions de l'administration ou du contrôle.

Art. 311. — *Etats de service des véhicules.* — Il sera tenu des états de service pour toutes les machines, remorqueuses ou automobiles.

Ces états seront inscrits sur le livret d'autorisation.

Ce livret devra être constamment à jour et indiquer la date de la mise en service des machines, le travail qu'elles ont accompli, les réparations ou modifications qu'elles ont reçues et le renouvellement de leurs diverses pièces, enfin les avaries qu'elles ont subies et les causes qui les ont fait retirer de la circulation.

Sur ce même livret, il sera tenu, en outre, pour les essieux desdites machines, remorqueuses ou automobiles, un état spécial sur lequel, à côté du numéro d'ordre de chaque essieu, seront inscrits sa provenance, la date de sa mise en service, l'épreuve qu'il peut avoir subie, son travail, ses accidents et

Digitized by Google

ses réparations ; à cet effet, le numéro d'ordre sera poinçonné sur chaque essieu.

Les états mentionnés aux deux paragraphes ci-dessus seront représentés à toute réquisition, aux ingénieurs et fonctionnaires chargés de la surveillance et du contrôle de l'exploitation des tramways.

ART. 312. — *Conduite des véhicules.* — Les machines remorqueuses ou automobiles devront être desservies par un nombre d'agents suffisant pour la manœuvre des divers appareils et notamment des freins.

Ce nombre sera déterminé par nous pour chaque type de machines, remorqueuses ou automobiles, en tenant compte des dispositions spéciales qu'il présente.

ART. 313. — *Permis de circulation.— Laissez-passer. — Permis de stationnement.*— Aucune voiture d'attelage, aucune machine, remorqueuse ou automobile, ne pourront être mises en service qu'en vertu d'un permis de circulation indiquant le numéro et, s'il y a lieu, le nombre des places du véhicule.

Les permis de circulation seront délivrés par nous, sur la proposition du service de contrôle et sur l'avis de la Commission spéciale d'examen des voitures de tramways.

Lorsque l'une quelconque de ces voitures sera retirée du service, le permis de circulation sera immédiatement rapporté à la Préfecture de police.

Le remise en circulation sur une ligne de tramways d'une voiture d'attelage, d'une machine, remorqueuse ou automobile, dont l'interdiction aura été prononcée ou qui aura été retirée de la circulation à la suite d'avaries graves, ne pourra avoir lieu que sur la délivrance d'un nouveau permis et après nouvel examen.

Toutes les voitures d'attelage et toutes les automobiles en service seront, en outre, pourvues d'un laissez-passer délivré par l'administration des Contributions Indirectes ; elles devront également porter l'estampille de la Préfecture de la Seine répondant au permis de stationnement.

ART. 314. — *Nombre de véhicules en service.—Transfert d'une ligne à l'autre des numéros de police.* — Le nombre des machines, remorqueuses ou automobiles, ou des voitures d'attelage ne pourra être augmenté ni réduit sans notre autorisation.

Il est expressément défendu de transférer d'une ligne à l'autre les numéros de police des voitures ou des machines.

ART. 315. — *Machines et voitures de secours ou de réserve.— Voitures d'agrès. — Secours en cas d'accidents.* — Dans chaque dépôt, une machine ou une voiture dite de secours ou de réserve, pourvue de l'autorisation règlementaire, sera toujours entretenue sous pression et prête à partir pour remplacer immédiatement une des machines ou voitures en service qui se trouverait momentanément hors d'état de circuler.

En outre, une voiture chargée de tous les agrès et outils nécessaires sera toujours prête à partir en cas d'accident.

Chaque train sera muni des outils les plus indispensables.

Dans les bureaux de station désignés par nous, sur la proposition du service

Digitized by Google

de contrôle, les compagnies entretiendront des médicaments et les moyens de secours en cas d'accident.

ART. 316. — *Accidents.* — En cas d'accident de personnes, d'accident matériel important....., avis en sera immédiatement, et par les voies les plus rapides, envoyé, par les soins des compagnies ou de leurs agents, à notre Préfecture, à l'ingénieur en chef, à l'ingénieur et à l'inspecteur du contrôle.

L'appareil avarié ainsi que ses fragments ou pièces ne seront déplacés qu'en cas de force majeure ou de concert avec le commissaire de police et ne seront pas dénaturés avant la clôture des enquêtes qui pourront être ordonnées.

. . . . . .

### E. — Dispositions spéciales pour les automobiles.

ART. 325. — *Construction.* — Les automobiles devront être construites conformément aux prescriptions générales applicables aux machines de toute espèce et aux dispositions spéciales prévues pour les machines de même genre. Elles présenteront à toute époque de leur service toutes les conditions de sécurité, de commodité et de propreté désirables.

. . . . . .

La fermeture des caisses d'accumulateurs électriques qui pourraient être installées sous les banquettes sera absolument hermétique, de manière à éviter toute projection de liquides corrosifs hors des caisses ainsi que tout dégagement d'odeurs susceptibles d'incommoder les voyageurs.

L'automobile sera disposée, autant que possible, de façon à permettre au receveur, en cas de besoin, de se rendre facilement à la plate-forme avant ou tout au moins de manœuvrer, de l'intérieur de la caisse de l'automobile, les organes mis à la disposition du mécanicien pour conduire ou arrêter.

Dans tous les cas, des dispositifs spéciaux seront installés à portée immédiate de la place habituelle qu'occupera le receveur, donnant à celui-ci le moyen d'arrêter l'automobile, même en dérive, sans le secours du mécanicien ou des appareils de ce dernier. Ces dispositifs comprendront notamment des commandes directes des freins, sablières, cales, patins, etc., et..... un interrupteur destiné à faire cesser l'arrivée..... du courant électrique sur les moteurs.

ART. 326. — *Conduite.* — Chaque automobile sera conduite, selon l'espèce, par un mécanicien ou par un conducteur agréé par nous, sur la proposition de l'ingénieur en chef du contrôle des tramways.

Elle sera placée sous la surveillance d'un receveur qui, après examen subi devant un représentant du service du contrôle, aura été reconnu, par nous, capable de produire l'arrêt et de conduire l'automobile en cas de nécessité.

### § 3. — VOITURES D'ATTELAGE

ART. 327. — *Construction.* — Il est interdit de mettre ou de maintenir en circulation des voitures d'attelage ou des automobiles dont les caisses ne réuniraient pas toutes les conditions de sûreté, de commodité et de propreté désirables.

Les voitures d'attelage et les caisses des automobiles devront satisfaire aux prescriptions des articles 8, 9, 11, 13, 14 et 15 de l'ordonnance réglementaire du 15 novembre 1846.

Digitized by Google

Elles seront suspendues sur ressorts et pourront être à deux étages.

L'étage inférieur sera complètement couvert, garni de banquettes avec dossiers, fermé à glaces, au moins pendant l'hiver, muni de rideaux et éclairé pendant la nuit : l'étage supérieur sera garni de banquettes avec dossiers ; on y accédera au moyen d'escaliers qui seront munis, ainsi que les couloirs latéraux donnant accès aux places, de garde-corps solides d'au moins 1,10 m. de hauteur effective.

Les dossiers et les banquettes seront inclinés et les dossiers seront à la hauteur des épaules des voyageurs.

Il pourra y avoir des places de plusieurs classes; la disposition de chaque classe sera conforme à nos prescriptions.

Ces voitures seront munies des estampilles de la Préfecture de Police, des Contributions Indirectes et, s'il y a lieu, de la Préfecture de la Seine.

ART. 328. — *Couverture des impériales.* — Les impériales des voitures et des automobiles seront couvertes et protégées à l'avant et à l'arrière par des cloisons en tôle ou en bois.

ART. 329. — *Éclairage.* — Les automobiles et les voitures d'attelage seront pourvues d'appareils d'éclairage disposés de telle sorte que l'intérieur et l'impériale des véhicules soient convenablement éclairés.

ART. 330. — *Chauffage des voitures et des automobiles.* — Les charbons ou briquettes ne pourront être utilisés comme mode de chauffage des voitures ou des automobiles que si les appareils destinés à les contenir sont disposés de telle sorte que les gaz de la combustion se dégagent directement à l'extérieur.

ART. 331. — *Signal d'arrêt.* — Toutes les voitures, toutes les automobiles seront munies d'un appareil spécial destiné à permettre au conducteur chef de train ou au receveur de donner au conducteur ou au mécanicien le signal d'arrêt.

ART. 332. — *Signal « COMPLET ».* — A l'arrière des automobiles et des voitures s'arrêtant en pleine voie on installera un appareil dit « COMPLET » qui devra être éclairé pendant la nuit.

ART. 333. — *Girouette ou pavillon mobile. — Inscriptions à l'intérieur et à l'extérieur des voitures.* — Les voitures et les automobiles isolées porteront à l'extérieur :

1° A l'arrière, sur une girouette ou pavillon mobile. l'indication des points de départ et d'arrivée ;

2° Sur les bandeaux latéraux l'indication des principaux points intermédiaires ou localités desservies ;

3° Sur un point extérieur suffisamment apparent, le nom de la compagnie.

ART. 334. — *Numérotage.* — Les voitures d'attelage et les caisses des automobiles seront numérotées.

Le mode de ce numérotage et toutes les opérations qui y sont relatives sont fixés par les arrêtés spéciaux.

Les numéros seront constamment maintenus en bon état ; ils seront toujours parfaitement visibles.

ART. 335. — *Annonces.* — Aucune annonce ou réclame d'intérêt privé ne

Digitized by Google

pourra être inscrite ou placardée, ni à l'intérieur des automobiles ou des voitures, ni sur les glaces desdits véhicules, sans notre autorisation.

Aucun numéro autre que celui d'ordre ou de police, aucune affiche autre que celles relatives au service ne pourront être apposées à l'extérieur.

### § 4. — Wagons et fourgons

Art. 336. — *Construction.* — Les wagons ou fourgons destinés au transport des marchandises, des chevaux ou des bestiaux, les plates-formes et en général toutes les parties du matériel roulant seront de bonne et solide construction et satisferont aux prescriptions des articles 8, 9 et 15 de l'ordonnance réglementaire du 15 novembre 1846.

### § 5. — Trains

Art. 337. — *Vitesse.* — La vitesse des automobiles ou des trains de tramway sera fixée par nous. Elle ne devra, dans aucun cas, excéder vingt kilomètres à l'heure dans les parties hors traverses et douze kilomètres dans les traverses.

Elle sera réduite à huit km. dans les traverses :

1° A la descente des rampes dont la déclivité dépasse 0,02 m par mètre ;

2° A la traversée des croisements et au passage des bifurcations des lignes de tramways ;

3° Au passage des aiguilles prises en pointe ;

4° Aux débouchés des voies publiques très fréquentées.

Ces derniers points de ralentissement seront fixés par des arrêtés spéciaux, les compagnies entendues.

La vitesse sera ramenée à 6 km. à l'heure pour la traversée des portes de Paris, soit à l'entrée, soit à la sortie, après l'arrêt qui aura eu lieu précédemment pour permettre aux employés d'octroi de visiter les voitures.

La vitesse des trains de marchandises circulant sur les lignes de tramways, pendant la nuit, ne pourra excéder, dans Paris, 20 km. à l'heure.

Avant de traverser un croisement ou de passer sur une bifurcation de ligne de tramways à traction mécanique, toute automobile ou tout train de tramways devra effectuer un arrêt complet et ne reprendre sa marche que lorsque le mécanicien se sera assuré qu'il ne risque de prendre en écharpe aucun train de la ligne à croiser ou à emprunter.

Art. 338. — *Feux des trains et des voitures isolées.* — Toute voiture isolée ou tout train portera extérieurement un feu rouge à l'avant et un feu vert à l'arrière.

En outre de ces deux feux, les machines devront être pourvue d'appareils d'éclairage à réflecteurs qui seront disposés de manière à éclairer la voie en avant dans un champ suffisamment étendu pour permettre au mécanicien d'arrêter à temps en cas d'obstacle.

Les feux devront être allumés au coucher du soleil et ne pourront être éteints avant son lever.

Ils devront également être allumés en cas de brouillard ou d'obscurité

Digitized by Google

accidentelle ne permettant de découvrir la voie en avant du train sur une longueur de plus de 50 m.

ART. 339. — *Remorquage des trains.* — Les machines seront placées en tête des trains. Il ne pourra être dérogé à cette disposition que pour les manœuvres à exécuter aux stations ou pour le cas de secours. Dans ces cas spéciaux, la vitesse ne devra pas dépasser celle de l'homme au pas ; le train ou l'automobile sera précédé par un homme marchant à une dizaine de mètres en avant du train ou de l'automobile, mais en dehors des voies ; cet employé sera muni d'un fanion rouge ou d'une lanterne à feu rouge, de manière à pouvoir donner au mécanicien, en vue duquel il se tiendra, le signal d'arrêter si un obstacle se présente.

Les trains seront remorqués par une seule machine, sauf en cas d'accident.

Il est, dans tous les cas, interdit d'atteler simultanément plus de deux machines à un train ; la machine placée en tête réglera la marche du train, dont la vitesse ne devra jamais dépasser dix kilomètres à l'heure dans le cas d'un double attelage.

ART. 340. — *Attaches et chaînes de sûreté.* — Les machines et voitures entrant dans la composition des trains seront liées entre elles par des attaches rigides, avec ressort et chaînes de sûreté.

ART. 341. — *Arrêts des trains ou des automobiles.* — En exécution des clauses des cahiers de charges, les tramways s'arrêteront en pleine voie pour prendre ou laisser des voyageurs sur tous les points du parcours ou seulement aux stations et aux haltes, avec faculté de supprimer l'arrêt à ces dernières s'il n'y a ni voyageur ni marchandise à prendre ou à laisser.

Les arrêts en pleine voie ne pourront avoir lieu sur les points indiqués à l'article 11.

ART. 342. — *Gardiennage des trains et des freins.* — En outre du mécanicien et du chauffeur ou aide-mécanicien, chaque train sera accompagné hors Paris du nombre de conducteurs, garde-freins qui sera jugé nécessaire ; il y aura, d'ailleurs, sur la dernière voiture un conducteur qui sera mis en communication avec le mécanicien.

Dans Paris, il y aura sur chaque voiture du train un conducteur garde-frein mis en communication avec le mécanicien ; l'un des conducteurs du train aura autorité sur les autres et sera seul chargé de donner le signal du départ.

## § 6. — DISPOSITIONS DIVERSES

ART. 343. — *Bureaux.* — Aucun bureau de station, de contrôle ou de correspondance ne sera ouvert sur le parcours des itinéraires sans notre autorisation.

Les bureaux seront tenus, ainsi que leurs abords, dans un état constant de propreté.

ART. 344. — *Registre de plaintes.* — Dans chaque bureau, il sera tenu un registre coté et paraphé par nous, et destiné à recevoir les plaintes des personnes (voyageurs ou autres).

Digitized by Google

Ce registre sera représenté à toute réquisition du public et des agents de l'autorité.

Une enquête sera immédiatement ouverte par les compagnies au sujet de chaque plainte et le résultat en sera transmis directement, ainsi que le relevé de la plainte, à la Préfecture de Police.

Le rapport d'enquête mentionnera également la peine disciplinaire infligée, le cas échéant, à l'agent signalé, mais sous la réserve pour l'administration de reviser, s'il y a lieu, les décisions prises à ce sujet par les compagnies et d'aviser ensuite les plaignants de la suite donnée à leurs plaintes.

Le registre de plaintes sera communiqué, en outre, à toute réquisition des agents du contrôle.

Art. 345. — *Numéros d'ordre pour l'admission dans les voitures.* — Dans les bureaux de départ ou de station, il sera remis par les contrôleurs à chaque voyageur, sur sa demande, un numéro indicatif de l'ordre dans lequel il devra être admis dans les voitures.

Art. 346. — *Avis relatif à l'usage des correspondances.* — Un avis imprimé, indiquant les différentes lignes correspondant entre elles et la marche à suivre pour faire usage des correspondances, sera constamment affiché dans les bureaux.

Un avis imprimé indiquera dans chaque voiture les différentes lignes en correspondance avec ladite voiture.

Art. 347. — *Indication du numéro, du nombre et du prix des places de la voiture, du genre de classe et du tarif du transport des bagages.* — Le numéro de la voiture, le nombre et le prix des places des voyageurs, ainsi que le tarif du transport des bagages, seront indiqués sur un tableau spécial qui sera constamment affiché à l'intérieur des voitures.

Ce tableau qui portera, en outre, l'indication du nom ou des initiales des compagnies, sera revêtu de l'estampille de la Préfecture de Police.

Le numéro de la voiture, le nombre, le prix des places et le genre des classes seront répétés à l'extérieur des voitures et des automobiles.

Art. 348. — *Horaires.* — Les horaires à appliquer sur les lignes de tramways à traction mécanique seront fixés par des arrêtés spéciaux.

Des tableaux imprimés, revêtus de l'estampille de la Préfecture de Police, indiqueront pour chaque ligne les heures des premiers et des derniers départs ainsi que les intervalles moyens entre les départs.

Ces tableaux seront constamment affichés dans les bureaux et les voitures desservant la ligne à laquelle ils s'appliquent.

Art. 349. — *Interruption du service.* — *Transbordement.* — En cas d'interruption de la voie ferrée pour une cause quelconque, les compagnies peuvent être tenues de rétablir provisoirement les communications, soit en déplaçant momentanément leurs voies, soit en employant pour la traversée de l'obstacle des voitures ordinaires.

Art. 350. — *Surveillance et police de la voie ferrée.* — *Agents assermentés.* — Les chefs de stations ou contrôleurs, conducteurs, receveurs et inspecteurs au service des compagnies de tramways pourront être agréés par nous en qua-

Digitized by Google

ité d'agents assermentés ; ils pourront, dans ce cas, constater à l'égard des contrevenants les infractions en matière de tramways.

### § 7. — Dispositions spéciales de police et de sécurité

Art. 351. — En exécution de l'article 35 du décret du 6 août 1881, il est défendu à toute personne étrangère au service de la voie ferrée :

1° De déranger, altérer ou modifier, sous quelque prétexte que ce soit, la voie ferrée et les ouvrages qui en dépendent ;

2° De stationner sur la voie de fer ou d'y faire stationner des voitures ;

3° D'y laisser séjourner des chevaux, bestiaux ou animaux d'aucune sorte ;

4° D'y jeter ou déposer aucuns matériaux, ni objets quelconques ;

5° D'emprunter les rails de la voie ferrée pour la circulation des voitures étrangères au service.

Art. 352. — Conformément aux dispositions de l'article 36 du même décret, il est défendu aux voyageurs :

1° D'entrer dans les voitures ou d'en sortir pendant la marche, et autrement que par la portière réservée à cet effet ;

2° De passer d'une voiture dans une autre, de se pencher en dehors et de stationner debout sur les impériales pendant la marche.

L'entrée des voitures est interdite :

1° A tout individu en état d'ivresse ;

2° A tous individus porteurs de paquets qui, par leur nature, leur volume ou leur odeur, pourraient salir, gêner ou incommoder les voyageurs.

Aucun chien ne sera admis dans les voitures servant au transport des voyageurs ; toutefois, la compagnie pourra placer dans des compartiments spéciaux les voyageurs qui ne voudraient pas se séparer de leurs chiens, pourvu que ces animaux soient muselés.

Art. 353. — Aucune personne autre que le mécanicien, le chauffeur, l'électricien ou le conducteur, ne pourra monter sur la machine ou la place réservée pour la conduite du véhicule, à moins d'une permission spéciale et écrite du directeur de la compagnie. Sont exceptés de cette interdiction les fonctionnaires chargés de la surveillance.

Art. 354. — Les compagnies ne pourront admettre dans les convois qui portent des voyageurs aucune matière offrant des dangers d'explosion ou d'incendie.

Art. 355. — Les personnes qui voudront expédier des marchandises considérées comme pouvant être une cause d'explosion ou d'incendie, d'après la classification des décrets en vigueur, devront en faire la déclaration formelle au moment où elles les livreront au service de la voie ferrée.

Les expéditeurs devront se conformer, en ce qui concerne l'emballage et les marques des colis dangereux, aux prescriptions des décrets précités.

Digitized by Google

## § 8. — Des obligations imposées aux compagnies.

Art. 356. — *Déclarations de service.* — Les compagnies de tramways à traction mécanique devront déclarer à la Préfecture de Police, chaque fois qu'il y aura lieu :

1° Le nombre et la situation de leurs dépôts ;

2° Chacune des voitures d'attelage et des machines, remorqueuses ou automobiles, qu'elles voudront mettre en circulation ;

3° Le nombre de places que contiendront, soit à l'intérieur, soit à l'extérieur, les voitures ou les automobiles ;

4° Les emplacements et bureaux d'où partiront les voitures, soit à Paris, soit dans les communes du ressort de la Préfecture de Police ;

5° Les itinéraires à suivre ;

6° Les localités desservies par leurs voitures ;

7° Le tarif du transport des voyageurs et des bagages ;

8° Les heures de départ et d'arrivée des voitures, ainsi que les intervalles à observer entre ces départs.

Art. 357. — *Propositions de service.* — Les compagnies seront tenues de soumettre à l'administration leurs propositions relatives à l'exploitation, dans le délai qui sera fixé par nous, faute de quoi il sera statué directement.

S'il y a lieu de modifier ces propositions et sauf le cas d'urgence, les compagnies seront entendues avant la prescription de ces modifications.

Art. 358. — *Personnel employé par les compagnies.* — Les compagnies ne pourront employer que des chefs de station ou contrôleurs, conducteurs, receveurs, électriciens, mécaniciens, aides-mécaniciens et chauffeurs pourvus d'une autorisation délivrée par nous. Avant d'engager l'un de ces agents, elles devront retirer à la Préfecture de Police son autorisation.

Lorsque l'un d'eux cessera son service, les compagnies rapporteront, dans les vingt-quatre heures, son autorisation à la Préfecture de Police.

Il est interdit d'employer un agent auquel l'autorisation aura été retirée.

Art. 359. — *Registre d'inscription du personnel.* — Les compagnies inscriront sur des registres spéciaux : les noms, prénoms et domiciles de leurs chefs de station ou contrôleurs, conducteurs, receveurs, mécaniciens, électriciens, chauffeurs ou aides-mécaniciens, ainsi que le numéro de leur inscription à la Préfecture de Police.

Elles y inscriront, chaque jour, le numéro de la machine ou de la voiture dont la conduite ou la surveillance aura été confiée, même temporairement, à chaque mécanicien, électricien, conducteur, receveur, chauffeur ou aide-mécanicien.

Ces registres devront être tenus constamment à jour. Ils seront représentés :

1° Dans les dépôts, à toute réquisition des agents de l'autorité ou du contrôle ;

2° Au bureau d'attributions, lorsqu'il y aura lieu de procéder à une vérification, sur une injonction émanée de l'administration.



Digitized by Google

Les compagnies devront conserver ces registres au moins pendant une année, à compter du jour de la dernière inscription.

ART. 360. — *Dépôt des objets trouvés.* — Les compagnies devront veiller à ce que les objets trouvés dans les voitures ou les automobiles soient déposés à la Préfecture de Police dans les quarante-huit heures.

ART. 361. — *Règlements du service intérieur.* — Les compagnies soumettront à notre approbation les règlements du service intérieur relatifs à l'exploitation de leurs réseaux de voies ferrées.

§ 9. — DISPOSITIONS RELATIVES AUX CONTRÔLEURS OU CHEFS DE STATION, MÉCANICIENS, AIDES-MÉCANICIENS, CHAUFFEURS, CONDUCTEURS ET RECEVEURS

A. — **Dispositions communes à tous ces employés.**

ART. 362. — *Conditions d'admission.* — *Autorisations.* — Nul ne pourra conduire une machine, une automobile, une voiture ou un remorqueur affectés à l'exploitation des tramways ou exercer la profession de conducteur, receveur, contrôleur ou chef de station, s'il n'est porteur d'une autorisation délivrée par nous à cet effet.

Le postulant devra fournir, à l'appui de sa demande, un extrait de son acte de naissance et deux exemplaires de sa photographie (chaque exemplaire devra avoir deux centimètres de largeur sur trois centimètres de hauteur), ainsi qu'un certificat authentique de résidence et une lettre d'acceptation de la compagnie qui le prend à son service.

Les mécaniciens, aides-mécaniciens, chauffeurs, électriciens et conducteurs de voitures à moteur mécanique quelconque devront faire preuve devant l'ingénieur en chef du contrôle des tramways, ou l'un de ses délégués, qu'ils possèdent l'expérience nécessaire pour l'emploi prompt et sûr des appareils de mise en marche et d'arrêt et pour la direction du véhicule, qu'ils sont à même de reconnaître si les divers appareils sont en bon état de service et de prendre toutes les précautions utiles pour prévenir les explosions et autres accidents, qu'ils sauraient, au besoin, réparer une légère avarie en route.

ART. 363. — *Autorisation.* — Il sera remis par la Préfecture de Police, à chacun des candidats, une autorisation spéciale.

L'un des exemplaires de la photographie sera annexé à l'autorisation.

ART. 364. — *Pièces à porter pendant le service, à représenter aux agents de l'autorité ou du contrôle et à rendre en cas de cessation de service.* — Les contrôleurs ou chefs de station, conducteurs, receveurs, mécaniciens, électriciens, chauffeurs ou aides-mécaniciens devront toujours être porteurs, pendant le service, de leur autorisation.

Les mécaniciens, électriciens, conducteurs et receveurs auront, en outre, en leur possession, savoir :

LES MÉCANICIENS, LES ÉLECTRICIENS OU CONDUCTEURS :

Le livret d'autorisation de l'appareil qu'ils conduisent ;

LES RECEVEURS OU CONDUCTEURS CHEFS DE TRAINS :

1° Le permis de circulation de la voiture ;

Digitized by Google

2° Le laissez-passer de l'administration des Contributions Indirectes.

Les pièces dont il s'agit devront être représentées à toute réquisition des agents de l'autorité et spécialement des ingénieurs et inspecteurs du contrôle des tramways.

En cas de cessation de service, les livrets d'autorisation, les permis de circulation et les laissez-passer seront immédiatement remis par les employés aux compagnies.

Ces employés devront, en outre, avant leur départ, remettre aux compagnies leurs autorisations respectives.

En cas de refus de leur part, les compagnies devront en faire la déclaration à la Préfecture de Police, dans les vingt-quatre heures.

ART. 365. — *Défense de fumer.* — Il est interdit aux contrôleurs, aux receveurs et aux mécaniciens, aides-mécaniciens ou chauffeurs de fumer pendant le service.

ART. 366. — *Impolitesse.* — *Grossièreté.* — *Brutalité.* — Toute impolitesse, tout acte de grossièreté ou de brutalité de la part des contrôleurs ou chefs de station, mécaniciens, chauffeurs, aides-mécaniciens, électriciens, conducteurs ou receveurs seront réprimés.

Les contrevenants seront passibles, suivant les cas, de poursuites judiciaires ou de peines, soit administratives, soit disciplinaires.

ART. 367. — *Retrait de l'autorisation.* — En cas d'infraction aux règlements, de plaintes graves ou réitérées, ou pour tout autre motif qui intéresserait la sécurité publique, l'autorisation donnée aux agents mentionnés dans l'article précédent sera retirée temporairement ou définitivement.

Pour les mécaniciens et conducteurs de voitures à moteur mécanique quelconque, le retrait sera prononcé sur l'avis de l'ingénieur en chef du contrôle des tramways.

Les intéressés seront toujours entendus.

### B. — Disposition commune aux chefs de station ou contrôleurs, conducteurs, receveurs ou agents assermentés.

ART. 368. — *Uniforme.* — Les contrôleurs ou chefs de station, les conducteurs et receveurs attachés au service des tramways à traction mécanique, ainsi que les agents assermentés, porteront un uniforme dont le modèle sera approuvé par nous.

Il leur est formellement interdit de quitter cet uniforme pendant le service.

### C. — Disposition spéciale aux contrôleurs ou chefs de station.

ART. 369. — *Renseignements à fournir aux voyageurs.* — *Présentation du registre de plaintes.* — *Remise de numéros d'ordre.* — Les contrôleurs ou chefs de station devront donner aux voyageurs qui le demandent tous les renseignements concernant le service.

Ils remettront ou représenteront à toute réquisition du public ou des agents le registre des plaintes mentionné en l'article 344.

Ils remettront enfin, à chaque voyageur, sur sa demande, un numéro indiquant l'ordre dans lequel il devra être admis dans les voitures.

Digitized by Google

ART. 370. — *Défense d'abandonner les bureaux.* — Il est interdit aux contrôleurs, pendant le service, d'abandonner les bureaux dont ils ont la surveillance.

**D. — Dispositions spéciales aux mécaniciens, électriciens ou conducteurs de voitures à moteur mécanique.**

ART. 371. — *Conduite et surveillance de l'appareil moteur.* — Le mécanicien chargé de la conduite d'une machine à vapeur, d'une automobile, d'un remorqueur ou d'un véhicule à moteur mécanique devra, selon le genre de d'appareil qu'il dirige, veiller à ce que toutes les parties de l'appareil moteur, les freins et les divers systèmes de commande des freins soient en bon état et fonctionnent bien, à ce que les joints et la tuyauterie soient étanches et l'alimentation de la chaudière convenablement assurée et, enfin, à ce que les prescriptions relatives à la pression de la vapeur soient bien observées.

S'il a reconnu au départ ou en cours de route des défectuosités quelconques, il devra les mentionner sur le livret d'autorisation et en saisir immédiatement son chef hiérarchique.

ART. 372. — *Corne ou trompe.* — *Usage.* — Pendant le trajet, le mécanicien, l'électricien, ou le conducteur d'une voiture de tramways devra signaler l'approche du véhicule ou du train, au moyen d'une trompe, d'une corne ou de tout instrument du même genre, à l'exclusion des appareils qui feraient un bruit analogue à celui du sifflet à vapeur, afin que les piétons, ainsi que les charretiers et les conducteurs de voitures ou d'animaux puissent se garer en temps utile.

Il donnera spécialement ce signal au croisement de toutes les voies très fréquentées.

Il ne devra, toutefois, en aucun cas, abuser du signal sonore.

ART. 373. — *Vitesse normale.* — *Ralentissements et arrêts.* — En marche, les mécaniciens, électriciens ou conducteurs se conformeront aux maxima de vitesse fixés par l'article 337 ; ils devront, d'autre part, réduire la vitesse au-dessous de ces maxima, si les circonstances l'exigent, en tenant compte des facultés d'arrêt dont ils disposent, de l'état des voies, des glissements possibles lors de l'arrêt et des conditions atmosphériques. Ils devront même arrêter leurs appareils ou leurs trains toutes les fois qu'ils verront soit des personnes en danger, soit des obstacles sur la voie, ou qu'ils s'apercevront que leur approche, en effrayant les chevaux ou autres animaux, peut occasionner des accidents ou être une cause de désordre.

Ils se conformeront, en outre, aux signaux de ralentissement ou d'arrêt qui leur seront faits par les gardiens et ouvriers de la voie ou les agents de l'autorité ; ils ne devront reprendre leur vitesse normale qu'après avoir acquis la certitude qu'ils peuvent le faire sans inconvénient.

Pour obtenir l'arrêt, ils devront se servir couramment du frein spécial dont ils disposent ; ils pourront, toutefois, se servir simultanément de tous les moyens d'arrêt mis à leur disposition.

ART. 374. — *Distance à observer entre les trains ou voitures.* — Hors Paris, lorsque des trains ou des automobiles en marche tendront à rejoindre un train, une automobile ou une voiture qui les précède, les conducteurs, électriciens

Digitized by Google

ou mécaniciens devront ralentir leur marche afin de conserver un intervalle d'au moins cent mètres entre l'automobile ou la machine qu'ils conduisent et le train et la voiture qui les précédera.

Dans Paris, l'intervalle sera réduit à cinquante mètres entre les trains ou les voitures en marche et à dix mètres si le train ou la voiture qui précède est arrêté en station ; mais l'allure devra être ramenée à la vitesse du pas pour franchir les quarante mètres précédant cet arrêt provisoire.

ART. 375. — *Arrêt des voitures et des trains. — Démarrage* — Les mécaniciens, électriciens et conducteurs de voitures à moteur mécanique s'arrêtant en pleine voie sont tenus d'arrêter, le plus promptement possible, au signal qui leur sera donné par le receveur ou par le conducteur chef de train, toutes les fois qu'il y aura à prendre ou à déposer des voyageurs, ou à l'appel du public, à moins que les voitures ne soient complètes.

Ces temps d'arrêt devront s'effectuer de manière à ne pas gêner la circulation. Ils ne pourront avoir lieu sur les points mentionnés dans l'article 11 de la présente ordonnance et ne dureront que le temps strictement nécessaire pour laisser monter ou descendre les voyageurs.

En cours de route ou aux stations, les agents ci-dessus désignés ne devront se remettre en marche que sur le signal des receveurs ou des conducteurs chefs de trains.

Sur les lignes de tramways à points d'arrêt fixes, les mécaniciens, électriciens et autres conducteurs de voitures à moteur mécanique devront s'arrêter en ces endroits à moins qu'il n'y ait aucun voyageur à prendre ou à déposer ; ils ne pourront se remettre en marche que sur le signal du receveur ou du conducteur chef de train.

Dans tous les cas, le démarrage des véhicules devra se faire sans secousse ni recul.

### E. — Dispositions spéciales aux conducteurs et receveurs.

ART. 376. — *Ordre d'arrêt ou de mise en marche. — Aide aux voyageurs.* — Sur les lignes de tramways ne possédant pas des points d'arrêt fixes, les conducteurs ou receveurs seront tenus de faire arrêter leurs voitures toutes les fois qu'ils auront à prendre ou à déposer des voyageurs. Ils aideront les voyageurs et surtout les femmes et les enfants à monter et à descendre.

Les conducteurs ou receveurs et les conducteurs chefs de trains ne pourront donner aux cochers ou aux mécaniciens le signal de mise en marche que lorsque les voyageurs qui descendront auront quitté le marchepied de la voiture, ou lorsque ceux qui monteront auront pris place.

Sur les lignes de tramways à points d'arrêt fixes, le receveur ou le conducteur chef de train ne devra également donner le signal du départ que lorsque tous les voyageurs seront montés ou descendus.

ART. 377. — *Surcharge.* — Il est interdit aux conducteurs ou receveurs d'admettre dans les voitures plus de voyageurs que ne le comporte le nombre de places indiqué tant à l'intérieur que sur la plate-forme ou l'impériale.

Par exception, les ingénieurs, inspecteurs et contrôleurs du service du con-

Digitized by Google

trôle de l'exploitation des tramways, munis de la carte d'identité délivrée par nous, seront toujours admis dans les voitures, même en surnombre.

ART. 378. — *Manœuvre du signal « COMPLET »*. — Lorsque toutes les places d'intérieur et de plates-formes seront occupées, les conducteurs ou receveurs découvriront le signal « COMPLET » ; ils le couvriront dès qu'une vacance se produira.

ART. 379. — *Police des voitures. — Mesures d'hygiène et de sécurité.* — Les conducteurs ou receveurs maintiendront l'ordre dans leurs voitures et veilleront à ce que les voyageurs se placent de manière à ne pas se gêner mutuellement.

Il leur est défendu :

1° De laisser monter dans les voitures, soit à l'intérieur, soit sur les plates-formes ou l'impériale, des individus en état d'ivresse, vêtus d'une manière malpropre ou incommode ou porteurs de paquets qui, par leur nature, leur volume ou leur odeur, pourraient salir, gêner ou incommoder les voyageurs ;

2° De laisser fumer à l'intérieur ;

3° De recevoir des chiens.

ART. 380. — *Délivrance des tickets de correspondance et indications y relatives.* — A l'intérieur de Paris, les conducteurs ou receveurs délivreront aux voyageurs, sur leur demande, des tickets leur donnant droit d'accès dans les voitures de l'une des lignes correspondant entre elles aux bureaux de contrôle.

Les tickets porteront la date du jour, ainsi que le numéro de la voiture sur laquelle ils auront été délivrés ou un signe permettant d'y suppléer.

Les conducteurs ou receveurs annonceront à haute voix en arrivant aux bureaux de correspondance la désignation du bureau touché ainsi que les diverses destinations des lignes en correspondance sur ce point.

ART. 381. — *Objets trouvés.* — Pendant le trajet et à chaque terminus, autant que possible avant que les voyageurs se soient éloignés, les receveurs et les conducteurs chefs de train visiteront l'intérieur et l'impériale de leurs voitures.

Lorsque les objets trouvés n'auront pu être remis sur-le-champ à leurs propriétaires, ils devront être déposés à la Préfecture de Police dans les quarante-huit heures.

Enfin, les contrôleurs déposeront, dans le même délai, les objets oubliés par les voyageurs à l'intérieur des bureaux d'attente ou de correspondance.

### F. — Disposition commune aux receveurs, conducteurs, électriciens et mécaniciens.

ART. 382. — *Prêt de véhicules ou de pièces réglementaires.* — Les mécaniciens, électriciens ou conducteurs ne pourront confier à qui ce soit la conduite de leurs voitures ou de leurs machines, ni se dessaisir des diverses pièces indiquées à l'article 364.

---

Digitized by Google

## ANNEXE N° 28

# LIMITES DE VITESSE ET DE TENSION ÉLECTRIQUE

### PRESCRITES EN SUISSE

### PAR LE DÉPARTEMENT FÉDÉRAL DES CHEMINS DE FER[1]

#### VITESSES DES TRAMWAYS ET CHEMINS DE FER SECONDAIRES

| DÉCLIVITÉS en millimètres par mètre. | VITESSES MAXIMA EN KILOMÈTRES A L'HEURE | | | |
|---|---|---|---|---|
| | à l'intérieur des villes. | à la traversée des villages. | à la traversée des groupes d'habitations | en rase campagne. |
| 0 à 30 | 12 | 15 | 18 | 25 |
| 30 à 50 | 12 | 15 | 15 | 20 |
| 50 à 70 | 12 | 12 | 12 | 15 |
| 70 à 90 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| au-dessus de 90 | 8 | 8 | 8 | 8 |

#### TENSIONS ÉLECTRIQUES ENTRE LA TERRE ET LES FILS

| NATURE DES LIGNES DESSERVIES | VOLTAGE MAXIMUM EN VOLTS | |
|---|---|---|
| | En courant continu. | En courants alternatifs. |
| Chemins de fer sur plate-forme indépendante . . . . . | 1 000 | 750 |
| Tramways suburbains ou sur routes . . . | 750 | 550 |
| Tramways urbains . . . . . | 600 | 400 |

[1] Ces chiffres sont extraits de deux circulaires fédérales de 1897, qui ont, paraît-il, un caractère confidentiel, ce qui ne nous permet pas de les publier en entier.

Digitized by Google

# ANNEXE N° 29

## SYMBOLES DES QUANTITÉS PHYSIQUES ET ABRÉVIATIONS D'UNITÉS

proposés par M. E. Hospitalier

*et recommandés par la Commission des Notations de la Chambre des Délégués du Congrès international des Électriciens de Chicago en* 1893.

| QUANTITÉS PHYSIQUES | SYMBOLES | ÉQUATIONS de définition. | DIMENSIONS des quantités physiques. | NOMS DES UNITÉS C.G.S. | ABRÉVIATIONS des unités c.g.s. | UNITÉS PRATIQUES | ABRÉVIATIONS des unités pratiques. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Fondamentales.** | | | | | | | |
| Longueur | $L, l$ | » | $L$ | Centimètre. | cm | Mètre. | m |
| Masse | $M$ | » | $M$ | Masse du gramme. | g | Masse du kilogramme. | kg |
| Temps | $T, t$ | » | $T$ | Seconde. | s | Minute; heure. | m; h |
| **Géométriques.** | | | | | | | |
| Surface | $S, s$ | $S = L.L$ | $L^2$ | Centimètre carré. | $cm^2$ | Mètre carré. | $m^2$ |
| Volume | $V$ | $V = L\ L.l.$ | $L^3$ | Centimètre cube. | $cm^3$ | Mètre cube. | $m^3$ |
| Angle | $\alpha, \beta$ | $\alpha = \frac{\text{arc}}{\text{rayon}}$ | Un nombre | Radian. | » | Degré, minute, seconde, grade. | » |
| **Mécaniques.** | | | | | | | |
| Vitesse | $v$ | $v = \frac{L}{T}$ | $LT^{-1}$ | Centimètre par seconde. | cm : s | Mètre par seconde. | m : s |
| Vitesse angulaire | $\omega$ | $\omega = \frac{v}{L}$ | $T^{-1}$ | Radian par seconde. | » | Tour par minute. | t : m |
| Accélération | $a$ | $a = \frac{v}{T}$ | $LT^{-2}$ | Centimètre par seconde par sec. | $cm : s^2$ | Mètre par seconde par sec. | $m : s^2$ |
| Force | $F$ | $F = M.A$ | $LMT^{-2}$ | Dyne. | dyne | Gramme; kilogramme. | $g^*$; $kg^*$ |
| Énergie ou travail (*work*). | $W$ | $W = F.l$ | $L^2MT^{-2}$ | Erg. | erg | Kilogrammètre. | kgm |
| Puissance | $P$ | $P = \frac{W}{T}$ | $L^2MT^{-3}$ | Erg par seconde. | erg : s | Kilogrammètre par seconde | kgm : s |
| Pression | $p$ | $p = \frac{F}{S}$ | $L^{-1}MT^{-2}$ | Dyne par centimètre carré. | $dyne : cm^2$ | Kilogramme par cent. carré | $kg : cm^2$ |
| Moment d'inertie | $K$ | $M.L^2$ | $L^2M$ | Gramme-masse-centimètre carré. | $g\text{-}cm^2$ | | |
| **Magnétiques.** | | | | | | | |
| Intensité de pôle | $m$ | $F = \frac{m^2}{l^2}$ | $L^{\frac{3}{2}}M^{\frac{1}{2}}T^{-1}$ | » | | | |
| [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | | |

Digitized by Google

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Intensité de champ . . . | $\mathcal{H}$ | $\mathcal{H} = \frac{F}{m}$ | $L^{-\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$ | » | | | |
| Flux de force magnétique. | $\Phi$ | $\Phi = H.S$ | $L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$ | » | | (Weber). | |
| Induction magnétique . . | $\mathcal{B}$ | $\mathcal{B} = \mu\mathcal{H}$ | $L^{-\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$ | » | | | |
| Perméabilité (magnétique) | $\mu$ | $\mu = \frac{\mathcal{B}}{\mathcal{H}}$ | Un nombre | » | | | |
| Susceptibilité (magnét.) . | $\kappa$ | $\kappa = \frac{\mathcal{J}}{\mathcal{H}}$ | Un nombre | » | | | |
| Réluctivité (magnétique). | $\nu$ | $\nu = \frac{1}{\mu}$ | Un nombre | » | | | |
| Réluctance (résist. magn.) | $\mathcal{R}$ | $\mathcal{R} = \nu \frac{L}{S}$ | $L^{-1}$ | » | | | |
| **Électromagnétiques.** | | | | | | | |
| Résistance . . . . . | $R, r$ | $R = \frac{E}{I}$ | $LT^{-1}$ | » | | Ohm. | ohm |
| Conductance . . . . . | $G$ | $G = \frac{1}{R}$ | $L^{-1}T$ | » | | Mho. | mho |
| Force électromotrice. . . | $E, e$ | $E = RI$ | $L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-2}$ | » | | Volt. | V |
| Différence de potentiel. . | $U, u$ | $U = RI$ | — | » | | | |
| Intensité de courant . . . | $I, i$ | $I = \frac{E}{R}$ | $L^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$ | » | | Ampère. | A |
| Quantité d'électricité. . . | $Q, q$ | $Q = IT$ | $L^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}}$ | » | | Coulomb; ampère-heure. | C; A-h |
| Capacité . . . . . | $C, c$ | $C = \frac{Q}{E}$ | $L^{-1}T^{2}$ | » | | Farad. | F |
| Énergie électrique. . . . | $W$ | $W = EIT$ | $L^{2}MT^{-2}$ | Erg. | | Joule; watt-heure. | J; w-h |
| Puissance électrique. . . | $P$ | $P = EI$ | $L^{2}MT^{-3}$ | Erg par seconde. | | Watt; kilowatt. | w; kw |
| Résistivité (résist. spéc.). | $\rho$ | $\rho = \frac{RS}{L}$ | $L^{2}T^{-1}$ | » | | Ohm-centimètre. | ohm-cm |
| Conductibilité (cond. spéc.) | $\gamma$ | $\gamma = \frac{1}{\rho}$ | $L^{-2}T$ | » | | » | » |
| Coefficient d'induction. . | $L, l$ | $L = \frac{\Phi}{I}$ | $L$ | Centimètre. | | Henry. | H |
| Force magnétisante . . . | $\mathcal{H}$ | $\mathcal{H} = \frac{4\pi NI}{L}$ | $L^{-\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$ | » | | » | » |
| Force magnétomotrice. . | $\mathcal{F}$ | $\mathcal{F} = 4\pi NI$ | $L^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$ | » | | Ampère-tour. | A-t |

Digitized by Google

Digitized by Google

LA PO IENTIFIQUE ET INDUSTRIELLE
ESFORGES
des Grands-Augustins. — PARIS

ans toute l'Union postale contre Mandat
ou valeur sur Paris.

OTICE ILLUSTRÉE
SUR LES
NCES CURIEUSES ET AMUSANTES
que l'on peut répéter avec la
INE RUHMKORFF
PAR
A. LOISEAU fils

dition enrichie d'un portrait de Ruhmkorff, suivie d'an-
périences d'électricité et de la description de quelques
eils d'application domestique. 1 volume in-12, cart. souple
62 figures, 1898 ..... 1 fr.

LA
LUMIÈRE ÉLECTRIQUE
ET LES
APPLICATIONS DOMESTIQUES ET INDUSTRIELLES DE L'ÉLECTRICITÉ
PAR
J.-P. ANNEY
*Ingénieur-Électricien*

1 volume in-8 broché, avec 32 figures, 1898.... 1 fr. 25

Extrait de la table des matières :

Historique et description des usines électriques. — Avantages de la lumière électrique. — Renseignements généraux relatifs aux installations de lumière électrique chez les abonnés. — Etablissement des installations. — Entretien des installations. Applications domestiques du courant électrique.

Digitized by Google

LES

# ACCUMULATEURS ÉLECTRIQUES

MONTAGE.

INSTALLATION. — CONDUITE. — ENTRETIEN.

PAR

**J.-A. MONTPELLIER**

*Rédacteur en Chef de l' « Électricien »*

1 volume in-12 broché, avec 83 figures..... 5 fr.

*Principaux chapitres de cet ouvrage :*

I. Principes des accumulateurs. — II. Les accumulateurs. — III. Montage et installation des accumulateurs. — IV. Emploi des accumulateurs. — V. Installation des circuits. Tableaux de distribution. — VI. Charge et décharge des accumulateurs. — VII. Types d'installations privées. — IX. Distribution de l'énergie électrique par accumulateurs. — X. Appareils de marche et de sûreté utilisés dans les installations d'accumulateurs : disjoncteurs-automatiques, conjoncteurs-disjoncteurs automatiques, shunts, teurs, rhéostats, commutateurs accouplés, appareils de mesures, indicateurs de l'état de charge des accumulateurs, indicateurs de pôles.

---

# L'ÉLECTRICIEN AMATEUR

MANUEL DE TRAVAUX PRATIQUES

PAR

**L. LEBIEZ**, *Chimiste-électricien*

1 volume in-12, broché avec 129 figures, 1898.. 4 fr. »»

Le même, ouvrage relié percaline..... 4 fr. 50

*Cet ouvrage contient :*

Outillage de l'amateur : soudure, rivure, machine à percer, machine à enrouler les bobines, construction d'un tour. — Construction d'un électrophore, d'une bouteille de Leyde, d'un pendule électrique et d'un électroscope, d'une machine de Wimshurst, d'un tube et d'un carreau étincelants, d'une pile au sulfate de cuivre, d'une pile au manganèse genre Leclanche, d'un galvanomètre, d'une sonnerie, d'un accumulateur, d'une bobine de Ruhmkorff, d'un transformateur, d'un voltmètre et d'un ampèremètre, d'un réveille-matin électrique, d'un allumoir électrique.

Digitized by Google

LA POSE ET L'ENTRETIEN

DES

# SONNERIES ÉLECTRIQUES

mis

à la portée de tout le monde

ou

MANUEL DESCRIPTIF DE TOUS LES APPAREILS CONSTITUTIFS

DE

LA SONNERIE ÉLECTRIQUE

PAR

**A. L. PELLETIER et TAUPIN d'AUGE**

3e édition. Grand in-8 broché avec nombreuses figures reproduisant les appareils et les croquis de pose les plus en usage, 1894..... 2 fr.

---

LES

# SONNERIES ÉLECTRIQUES

INSTALLATION, PLANS DE POSE, ETC.

PAR

**ENGELARD,** *Ingénieur-électricien*

1 volume in-12 broché avec 64 figures..... 0 fr. 75

*Du même auteur :*

**L'éclairage électrique.** Manuel pratique des ouvriers électriciens et des amateurs pour le choix des appareils, le montage, la conduite et l'entretien des installations. 2 volumes in-12 br. avec 200 figures. 1892..... 4 fr.

Le même ouvrage solidement cartonné..... 5 fr.


Digitized by Google

HISTORIQUE

PROPRIÉTÉS, FABRICATION, APPLICATIONS

DE

# L'ACÉTYLÈNE

PAR

**Georges DUMONT**
*Ingénieur des arts et manufactures.*

**Ernest HUBOU**
*Ingénieur civil des mines.*

**1 volume gr. in-8 br. avec 41 fig. 1896..... 2 fr. 50**

*Extrait de la table des matières :*

Historique. — Carbure de calcium. — Acétylène. — Applications diverses de l'acétylène. — Appareils de production du gaz acétylène : 1° appareils de production sous une pression légèrement supérieure à la pression atmosphérique ; 2° appareils permettant d'obtenir l'acétylène comprimé sous toutes pressions ; 3° appareils de fabrication de l'acétylène liquide ; 4° lampes portatives. — Objections contre l'emploi de l'acétylène. — Résumé et conclusion.

---

**SÉRIE DE PRIX DES TRAVAUX**

CONCERNANT LES

# INSTALLATIONS

**D'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE**

**EXÉCUTÉS POUR LE COMPTE DES PARTICULIERS**

**In-4 br. 1894..... 4 fr**

---

LA

# GALVANOPLASTIE

**SON HISTOIRE ET SES PROCÉDÉS**

TRAITÉ

des manipulations électro-galvaniques
mises à la portée des amateurs

PAR

**P. LAURENCIN**

**4e édition. 1 vol. in-12 br. avec 30 fig. 1891.... 2 fr. 50**

Digitized by Google

## A LA MÊME LIBRAIRIE

**BÉNARD** (G.). — **Album de 45 plans de pose pour téléphones** magnétiques, microphones, avec ou sans bobine d'induction pour installations privées (usines, châteaux, hôtels, grandes administrations). In-12 oblong avec 45 pl. 3 fr.

**BERGMANN** (F.). — **Le petit électricien.** Expériences que l'on peut exécuter avec les piles, bobines ; lumière électrique, allumoirs, sonneries, etc. 2e édition. In-12 br. avec 55 fig. 1 fr.

**BOUANT** (E.). — **La galvanoplastie**, le nickelage, l'argenture, la dorure, l'électrométallurgie et les applications chimiques de l'électrolyse. 1 vol. in-12 relié percal. avec 52 fig. 1894. 5 fr.

**CADIAT** (E). — **Manuel pratique de l'électricien.** Guide pour le montage et l'entretien des installations électriques. 3e édition. 1 vol. in-12 relié percal. avec 243 fig. 1897. 7 fr. 50

**CAHEN** (E.). — **Manuel pratique d'éclairage électrique** pour installations particulières (maisons d'habitation, usines, salles de reunion, etc.). 2e édition. 1 vol. in-12 relié percal. avec 73 fig. 1896. 7 fr. 50

**COUSTET** (E.). — **Les compteurs d'électricité.** 1 vol. in-12 br. avec 55 fig. 1898. 2 fr. 50

**DARY** (G.). — **L'électricité et la défense des côtes.** 1 vol. in-12 br. avec 114 fig. 1894. 5 fr.

**DENIS** fils aîné (S.) — **Album de 32 plans de pose de sonneries électriques.** In-12 oblong. 1 fr.

**DUMONT** (G.). — **La vapeur et l'électricité** appliquées aux arts et à l'industrie. 1 vol. in-12 br. avec 96 fig. 1877. 2 fr. 50

**GAISBERG** (S. von). — **Manuel de montage des appareils pour l'éclairage électrique**, traduit de l'allemand par Ch. Baye. 14e édition. 1 vol. in-12 br. avec 104 fig. 2 fr.

**GRAFFIGNY** (H. de). — **Petite encyclopédie électromécanique.** 12 vol. in-12 br. avec plus de 500 fig. Ensemble. 15 fr.

On vend séparément :

N° 1. Manuel élémentaire d'électricité industrielle.

Digitized by Google

N° 2. Conducteur de dynamos et moteurs électriques.
N° 3. Les piles et les accumulateurs.
N° 4. Les canalisations électriques.
N° 5. Chauffeur-conducteur de machines à vapeur.
N° 6. Conducteur de moteurs à gaz et à pétrole.
N° 7. Guide pratique d'éclairage électrique.
N° 8. Le monteur-appareilleur électricien.
N° 9. Transport électrique des forces motrices.
N° 10. Les réseaux téléphoniques et sonnettes.
N° 11. Guide pratique de l'électrochimiste.
N° 12. L'électricité pour tous.

Chaque volume in-12 br. 1 fr. 50

N. B. — Le prospectus détaillé de cette encyclopédie est adressé franco sur demande.

**HOSPITALIER** (E.). — **Formulaire de l'électricien.** 16e année, 1898, augmentée d'un vocabulaire technique français-anglais-allemand. 1 vol. in-18 relié percaline. 3 fr.

**HOUZEAU** (L.). — **Guide pratique de télégraphie.** Emploi de l'appareil Morse ; recherche et relèvement des dérangements ; fonctionnement, montage et entretien des piles. 10e édition refondue. 1 vol. in-8 br. avec 116 fig. 1893. 3 fr. 50

**JANET** (P.). — **Premiers principes d'électricité industrielle.** Piles, accumulateurs, dynamos, transformateurs. 2e édition. 1 vol. in-8 br. avec 173 fig. 1896. 6 fr.

**HUCHE** (G.). — **Conseils pratiques aux amateurs d'électricité** pour la fabrication économique des piles, sonneries, accumulateurs, allumoirs, appareils de sûreté, etc. 4e édition revue et augmentée par F. Ottmann. 1 vol. in-12 br. avec 59 fig. 1897. 1 fr.

**KEIGNART** (E.). — **Petit guide du constructeur électricien.** In-12 br. avec 50 fig. 1 fr.

**LAFFARGUE** (J.). — **Manuel pratique du monteur électricien.** Le mécanicien chauffeur électricien ; montage et conduite des installations électriques. (Cours d'électricité industrielle pratique fait à la Fédération professionnelle des chauffeurs-mécaniciens). 3e édition refondue et augmentée. 1 vol. in-12 relié cuir souple avec 436 fig. et pl. 9 fr.

**LAQUEUILLE** (H.-B. de). — **Petit manuel d'installation de la lumière électrique.** L'éclairage électrique chez soi. 2e édition. 1 vol. in-12 br. avec fig. 1 fr. 50

**LEFÈVRE** (J.). — **L'électricité à la maison.** 1 vol. in-12 relié percal. avec 225 fig. 1896. 4 fr.

Digitized by Google

**LOCKERT** (L.). — **Les voitures électriques,** avec supplément aux voitures à pétrole et note sur les moteurs à acétylène et à alcool. 1 vol. in-12 br. avec 85 fig. 1897. 2 fr. 50

**LOUBAT** (J.) et **WEILL** (L.). — **Manuel pratique de polissage et de nickelage.** 1 vol. in-12 br. avec 53 fig. 1898. 3 fr.

**MONTILLOT** (L.). — **L'éclairage électrique.** Guide pratique des électriciens et des amateurs. 1 vol. in-12 relié percal. avec 190 fig. 1894. 4 fr.

**MONTPELLIER** (J.-A.). — **Cours pratique d'électricité.** *Electrostatique.* 1 vol. in-12 br. avec 121 fig. 1894. 4 fr.

**PICOU** (R. V.). — **Les machines dynamo-électriques.** Principes généraux de théorie et d'application. 2e édition. 1 vol. in-12 br. avec 28 fig. 3 fr. 50

**RADIGUET.** — **La lumière électrique à domicile** par la pile Radiguet. Renseignements techniques, devis, plans de pose ; guide pour l'entretien et prix de tous les appareils et accessoires. 3e édition. In-8 cart. avec 86 fig. 1 fr.

**ROSELEUR** (A.). — **Manipulations hydroplastiques.** Guide pratique du doreur, de l'argenteur et du galvanoplaste. 6e édition, revue et augmentée par E. Delval. 1 vol. in-8 br. avec 216 fig. 1892. 15 fr.

**TOBLER** (A.). — **L'horlogerie électrique.** Edition française revue et augmentée par L. de Belfort de la Roque. 1 vol. in-12 br. avec 65 fig. 3 fr.

**VOLKERT** (C.). — **La dynamo,** modèle démontable en carton, avec texte explicatif. In-folio avec planche démontable figurant tous les organes de la machine dynamo-électrique en 42 figures en couleurs d'après les teintes conventionnelles. 1898. 3 fr. 50

**VOYER** (J.). — **Théorie élémentaire des courants alternatifs.** 1 vol. petit in-8 br. avec 51 fig., 1894. 2 fr.

**WYDTS** (A.). — **La machine dynamo-électrique,** sa théorie, calcul de ses éléments de construction à l'usage des constructeurs électriciens. 1 vol. gr. in-8 br. avec 41 fig. 1893. 3 fr. 50

N. B. Le catalogue général des ouvrages sur l'électricité est adressé franco sur demande affranchie.

Digitized by Google

# A LA MÊME LIBRAIRIE

**BARBAT** (Ch.). — **Petit dictionnaire pratique de mécanique et d'électricité.** 1 fort vol. in-12, relié percal. avec 1500 fig. 1894. 8 fr.

**BOCQUET** (J.-A.). — **Cours élémentaire de mécanique appliquée.** 3e édition. 1 vol. in-12 relié avec 169 fig. 1896. 5 fr.

**CADY** (J.). — **Traité pratique de filetage** à l'usage de tous les mécaniciens. 7e édition corrigée et augmentée d'un chapitre pour les tours anglais, de méthodes pour faire les cônes automatiquement, du filetage à l'aiguille, d'une méthode pour faire les outils à fileter, etc. 1 vol. in-18 br. avec 9 planches et tableaux hors texte, 1897. 2 fr.

**DEJONC** (E.). — **La mécanique pratique.** Guide du mécanicien, procédés de travail, explication méthodique de tout ce qui se voit et se fait en mécanique. 3e édition. 1 vol. in-12 avec 560 fig. 1894. Broché, 4 fr. Relié percaline. 5 fr.

**DELALOE** (L.). — **Manuel pratique du charpentier en fer** traitant du petit et du gros outillage ; des épures des ouvrages, de leur traçage, de leur exécution, de leur vérification avant la livraison, de l'organisation des ateliers de construction de ponts et charpentes en fer ; construction des escaliers en fer, etc. 2e édition revue et augmentée. 1 vol. gr. in-8 br. avec 112 fig. et 10 pl. 6 fr.

**FAY** (Ph.). — **Guide du traceur mécanicien,** comprenant les notions élémentaires de géométrie, la description et l'usage des principaux outils et instruments de traçage, de mesure et de vérification, l'indication de nouvelles méthodes pour le traçage rapide et exact des pièces et organes de machines (chaudronnerie, forge, fonderie et ajustage). 2e édition. 1 vol. in-8 br. avec 22 pl. contenant 292 fig. 1897. 7 fr. 50

**GRAFFIGNY** (H. de). — **Manuel du conducteur de machines.** Moteurs à vapeur, hydrauliques, à gaz et à pétrole. 1 vol. in-12 relié avec 78 fig. 1898. 3 fr. 50

**MONTUPET** (A.). — **Cours pratique de chaudronnerie en fer.** 3e édition. 1 vol. in-8 br. avec 44 pl. 1895. 7 fr. 50

**SILVAIN** (A.). — **Carnet du serrurier-constructeur.** Ouvrage entièrement pratique et mis à la portée de tout le monde. 1 vol. in-12, relié percal. avec fig. et 73 tableaux, 1891-92. 6 fr. 50

**WITZ** (A.). — **La machine à vapeur.** 1 vol. in-12, relié percaline avec 80 fig. 1891. 4 fr.

---

Baugé (Maine-et-Loire). — Imprimerie Dalour.

Digitized by Google

ÉVREUX, IMPRIMERIE DE CHARLES HÉRISSEY

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

OCT 21 1938

Digitized by Google